

Grado Universitario en Ingeniería Telemática
2018-2019

Trabajo Fin de Grado

“Desarrollo de una app de rutas turísticas con realidad aumentada para dispositivos móviles”

Gonzalo Gómez Ortega

Tutor

David Griol Barres

Leganés, 2019



[Incluir en el caso del interés de su publicación en el archivo abierto]

Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**

RESUMEN

El interés por el uso de los dispositivos móviles por parte de los usuarios está cada vez aumentando a nivel global. Por ello, en la actualidad hay multitud de tecnologías que se pueden usar con estos dispositivos, uno de ellos es la Realidad Aumentada. Es por eso por lo que se presenta este proyecto, en el cual se ha desarrollado una aplicación para smartphones con sistema operativo Android que combina la Realidad Aumentada con la interacción multimodal con el usuario.

Con esta aplicación un usuario, previamente registrado mediante su nombre y contraseña, puede buscar una ruta que le interese hacer en un momento determinado. Una vez la selecciona, gracias a la cámara puede detectar los puntos de interés que componen dicha ruta. Cuando uno de estos puntos es detectado, el usuario puede acceder a una página web o activar la síntesis de voz para escuchar una descripción con información adicional acerca del mismo.

Para conseguir estas funcionalidades, se han utilizado diferentes herramientas software actuales. Para realizar la base de datos remota se ha utilizado el servidor web x10hosting, un sistema de almacenamiento web. Por otro lado, para integrar las funcionalidades de la Realidad Aumentada, se ha utilizado Wikitude. Esta biblioteca es de pago, pero se ha utilizado una clave gratuita teniendo que asumir una serie de limitaciones en el número de objetivos que se pueden registrar, y del tamaño de los mismos. Por último, para obtener la síntesis de voz se ha utilizado la API TextToSpeech de Google.

Por último, en cuanto a los lenguajes de programación utilizados, principalmente ha sido utilizado el lenguaje Java para implementar las funcionalidades básicas. Sin embargo, también se ha utilizado JavaScript y HTML para conseguir la Realidad Aumentada y PHP para realizar las consultas a la base de datos remota.

Palabras clave: Dispositivos Móviles; Realidad Aumentada; Rutas naturales; Android; Base de Datos; Síntesis de voz.

AGRADECIMIENTOS

Antes de empezar, considero necesario mencionar a aquellas personas que me han ayudado a conseguir mi principal objetivo durante esta etapa de mi vida.

En primer lugar, me gustaría agradecer a los profesores que me han impartido las clases a lo largo de la carrera. Sin duda, todos ellos han mostrado todo su interés en mostrarme sus conocimientos técnicos, todos ellos necesarios para conseguir las aptitudes necesarias de cara a una vida profesional. En especial, a mi tutor David Griol, por introducirme en el interesante mundo de la Realidad Aumentada y por guiarme durante el desarrollo de este proyecto.

Agradecer también a mis padres y a mis hermanas el apoyo mostrado en los malos momentos y por acompañarme en los buenos durante toda esta etapa. Ellos han sido, sin duda, una ayuda muy importante para conseguir los objetivos propuestos durante estos años.

Por último, pero no menos importante, a todos mis compañeros, con los que he pasado muchísimas horas tanto dentro de la universidad como fuera de ella. Sin el apoyo que nos hemos mostrado los unos a los otros estos años se hubieran sido mucho más difíciles.

A todos ellos, muchas gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	III
AGRADECIMIENTOS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.1.1. <i>Motivación</i>	1
1.1.2. <i>La realidad virtual</i>	3
1.1.3. <i>La realidad aumentada</i>	3
1.1.4. <i>La realidad mixta</i>	4
1.2. OBJETIVOS	5
1.3. FASES DE DESARROLLO.....	6
1.4. MEDIOS Y FUENTES UTILIZADAS	7
1.4.1. <i>Documentación</i>	7
1.4.2. <i>Dispositivos hardware</i>	7
1.4.3. <i>Herramientas software</i>	8
1.5. MENCIÓN AL MARCO LEGAL	8
1.6. ENTORNO SOCIOECONÓMICO	9
1.6.1. <i>Impacto socioeconómico</i>	9
1.6.2. <i>Presupuesto del proyecto</i>	10
1.7. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	13
2. ESTADO DEL ARTE	16
3.1. ESTADO DEL ARTE EN SISTEMAS MÓVILES	16
3.1.1. <i>Sistemas operativos móviles</i>	18
3.2. ESTADO DEL ARTE EN REALIDAD AUMENTADA	28
3.2.1. <i>Antecedentes</i>	28
3.2.2. <i>Últimos avances</i>	29
3.2.3. <i>Componentes de la Realidad aumentada</i>	33
3.2.4. <i>Aplicaciones que utilizan RA</i>	34

3.2.5.	<i>Plataformas de desarrollo de RA</i>	39
3.3.	LIBRERÍA DE REALIDAD AUMENTADA WIKITUDE	41
3.3.1.	<i>Arquitectura</i>	41
3.3.2.	<i>Conceptos básicos</i>	43
3.3.3.	<i>Ciclo de vida de una aplicación con Wikitude</i>	44
3.3.4.	<i>Necesidades del terminal</i>	45
3.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	47
3.1.	PRESENTACIÓN DEL SISTEMA	47
3.2.	HERRAMIENTAS UTILIZADAS	48
3.2.1.	<i>Servidor web x10hosting</i>	49
3.2.2.	<i>MySQL</i>	51
3.2.3.	<i>PHPMyAdmin</i>	52
3.2.4.	<i>PHP</i>	54
3.2.5.	<i>HTTP</i>	56
3.2.6.	<i>JSON</i>	57
3.3.	MÓDULOS DEL SISTEMA.....	59
3.3.1.	<i>Módulo registro e identificación del usuario</i>	59
3.3.2.	<i>Módulo búsqueda de rutas</i>	61
3.3.3.	<i>Módulo ARactivity. Motor de RA</i>	62
3.3.4.	<i>Módulo HTML index.html</i>	63
3.4.	ENCRIPTADO DE CONTRASEÑAS	64
3.5.	CICLO DE EJECUCIÓN DE LA APLICACIÓN	66
4.	EVALUACIÓN	70
5.1.	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	70
5.2.	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN	71
5.	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	73
5.1.	CONCLUSIONES	73
5.2.	TRABAJO FUTURO	74
	ANEXO A – REQUISITOS Y MANUAL DE INSTALACIÓN	76
	ANEXO B – RESUMEN DE CONTENIDOS EN INGLÉS	77
B.1.	ABSTRACT	77

B.2. STATE OF ART AT MOBILE DEVICES	78
B.3. STATE OF ART AT AUGMENTED REALITY	79
B.4. SYSTEM DESCRIPTION	82
B.5. EVALUATION	84
B.6. CONCLUTIONS AND FUTURE WORK	85
GLOSARIO.....	87
BIBLIOGRAFÍA	89

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. LLEGADA DE TURISTAS A ESPAÑA POR MESES [36]	1
FIGURA 1.2. DISPOSITIVOS CON LOS QUE SE HACE USO DE REALIDAD VIRTUAL	3
FIGURA 1.3. USO DE UNA APLICACIÓN BASADA EN REALIDAD AUMENTADA.....	4
FIGURA 1.4. EJEMPLO DE USO PRÁCTICO DE LA REALIDAD MIXTA.	5
FIGURA 2.1. GRADO DE PENETRACIÓN DE SMARTPHONES EN ESPAÑA [35].....	17
FIGURA 2.2. NÚMERO DE DESCARGAS DE APPS MÓVILES [4].....	18
FIGURA 2.3. COMPARATIVA DE LA CUOTA DE MERCADO ENTRE IOS Y ANDROID [5].....	19
FIGURA 2.4. CAPAS DE IOS [9]	21
FIGURA 2.5. CONEXIÓN DE HARDWARE AL DISPOSITIVO MÓVIL GRACIAS A CONTINUUM	22
FIGURA 2.6. ESQUEMA DE LA ARQUITECTURA DE ANDROID [16].....	23
FIGURA 2.7. IMAGEN SENSORAMA.....	28
FIGURA 2.8. APLICACIÓN GOOGLE LENS	31
FIGURA 2.9. ARQUITECTURA DE LA FUSIÓN DE AR CON IoT	32
FIGURA 2.10. SENSOR Y MARCADOR UTILIZADOS PARA LA APLICACIÓN DE PRUEBA DE LA FUSIÓN AR-IoT.....	33
FIGURA 2.11. MODELADO 3D UTILIZADO PARA LA APLICACION DE PRUEBA DE LA FUSIÓN AR-IoT	33
FIGURA 2.12. ESQUEMA DE LA ARQUITECTURA DE WIKITUDE [29]	42
FIGURA 2.13. CICLO DE VIDA DE UNA APLICACIÓN ANDROID [30]	44
FIGURA 3.1. ADMINISTRADOR DE FICHEROS DE X10HOSTING	50
FIGURA 3.2. CAPTURA DE PANTALLA DE LAS BASES DE DATOS DE X10HOSTING.....	50
FIGURA 3.3. INTERFAZ GRÁFICA DE PHPMYADMIN	53
FIGURA 3.4. ESQUEMA DE LA ORGANIZACIÓN DE LA BASE DE DATOS UTILIZADA	54
FIGURA 3.5. EJEMPLO EN FORMATO JSON DE UNA RESPUESTA A LA APLICACIÓN ANDROID AL SOLICITAR LAS CATEGORÍAS DE LAS RUTAS.....	58
FIGURA 3.6. EJECUCIÓN DEL MÉTODO ONPREEXECUTE() DURANTE EL PROCESO DE LOGIN	60
FIGURA 3.7. ARQUITECTURA DEL FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO DE REGISTRO E IDENTIFICACIÓN DE USUARIO	61
FIGURA 3.8. EJECUCIÓN DEL ENTORNO WEB DENTRO DE ANDROID	64
FIGURA 3.9. TABLA USUARIOS CON EJEMPLOS DE CONTRASEÑAS ENCRIPTADAS	65

FIGURA 3.10. CAPTURAS DE PANTALLA DE LA APLICACIÓN: REGISTRO DE UN NUEVO
USUARIO..... 66

FIGURA 3.11. CAPTURAS DE PANTALLA DE LA APLICACIÓN: PROCESO DE LOGIN DE UN
USUARIO..... 67

FIGURA 3.12. CAPTURAS DE PANTALLA DE LA APLICACIÓN: BÚSQUEDA Y SELECCIÓN DE
UNA RUTA..... 68

FIGURA 3.13. CAPTURAS DE PANTALLA DE LA APLICACIÓN: EXPERIENCIA DE REALIDAD
AUMENTADA 69

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1. COSTES DE LA APLICACIÓN ASOCIADOS AL PERSONAL	11
TABLA 1.2. COSTES DE LA APLICACIÓN ASOCIADOS A RECURSOS SOFTWARE.....	11
TABLA 1.3. COSTES DE LA APLICACIÓN ASOCIADOS A RECURSOS HARDWARE.....	12
TABLA 1.4. COSTES DIRECTOS TOTALES.....	12
TABLA 1.5. COSTE TOTAL DE LA APLICACIÓN.....	13
TABLA 2.1. VERSIONES DE ANDROID Y FECHAS DE LANZAMIENTO	24
TABLA 2.2. APLICACIONES BASADAS EN REALIDAD AUMENTADA	36
TABLA 2.3. HERRAMIENTAS PARA EL DESARROLLO DE REALIDAD AUMENTADA [28].....	41
TABLA 2.4. COMPARATIVA DE LOS REQUISITOS DE WIKITUDE CON CARACTERÍSTICAS DE HUAWEI P9 LITE [31].	46
TABLA 4.1. PREGUNTAS DE LA ENCUESTA DE EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN.....	70
TABLA 4.2. RESULTADOS DE LA ENCUESTA DE EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN.....	71

1. INTRODUCCIÓN

En el primer capítulo de la memoria se presenta una descripción introductoria al Trabajo Fin de Carrera, en el que principalmente se citan los objetivos, así como las fases y la planificación para la elaboración de dicho proyecto. El capítulo concluye con un breve resumen sobre cómo se estructura esta memoria.

1.1. Antecedentes

Durante este apartado se ha tratado de explicar la motivación que ha provocado llevar a cabo este proyecto. Para ello, se han analizado las tecnologías utilizadas, y las se han concluido las ventajas que tiene su combinación para los usuarios. Posteriormente, es buena idea explicar a grandes rasgos el concepto de realidad aumentada. Por consiguiente, conviene diferenciarlo de otros dos términos que normalmente se suelen confundir, son la realidad mixta y, principalmente, la realidad virtual [1].

1.1.1. Motivación

En España, el turismo es una de las fuentes económicas más importantes. Esto es debido a que uno de los países que más turistas recibe al año. Concretamente, durante la primera mitad de 2018, España ha superado ya los 28,5 millones de turistas. Cifra que, comparada con el año previo, representa un incremento del 6%.

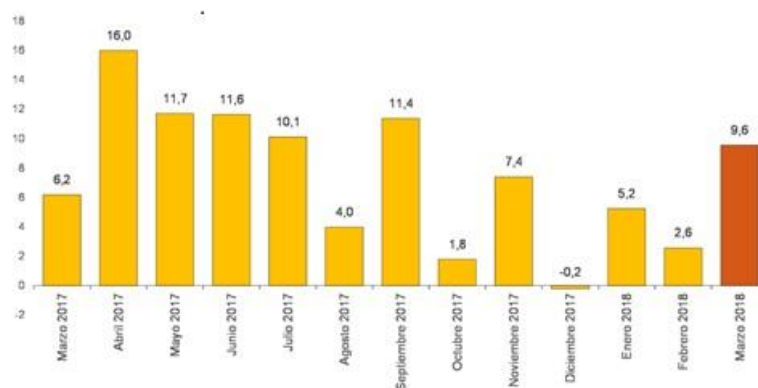


Figura 1.1. Llegada de turistas a España por meses [36]

Por otra parte, los smartphones se han convertido en uno de los medios de comunicación más importantes para los usuarios, ya que disponen de una infinidad de complejas aplicaciones que, con su acceso a internet, permiten la conexión entre usuarios a través de la red. Además, puede resultar muy ventajoso en un concepto del que se ha hablado anteriormente; el turismo, ya que actualmente existen en el mercado multitud de aplicaciones que ayudan a los turistas a conocer información del lugar que están visitando.

Tal y como se va a ver en posteriores capítulos, durante los últimos años han evolucionado en gran medida diferentes tecnologías compatibles con los dispositivos móviles, una de ellas es la Realidad Aumentada. Esta tecnología está presente en multitud de ámbitos de la sociedad y se prevee que va a ocupar gran volumen de mercado. También se puede llevar al turismo, pudiendo crear aplicaciones muy interactivas con el usuario, de tal manera que, con tan solo apuntar con la cámara del dispositivo a un lugar concreto, pueda tener acceso a gran cantidad de información, tanto por texto como por voz.

Por otra parte, hay dos tecnologías para la síntesis y el reconocimiento de voz. Técnicamente, a la primera de ellas se la conoce bajo las siglas ASR (de sus siglas en inglés Automatic Speech Recognition), por el que se procesa la señal acústica del usuario para hacer una posterior acción. La tecnología utilizada para la síntesis de voz se la conoce con las siglas TTS (Text-To-Speech), que realiza la función contraria, transforma un texto ya definido a voz [2]. Por ejemplo, con Google Home es posible reproducir todo el contenido multimedia (como música, series o películas) que el usuario quiera con tan solo usar su voz. Así como planificar su agenda personal incluyendo recordatorios, o consultando información que se quiera tener en un momento determinado, como el tráfico en la carretera en tiempo real o el tiempo que se prevee en ese instante.

Debido a la utilidad de los dispositivos móviles, la Realidad Aumentada, y la síntesis de voz, se ha decidido juntar todas ellas creando una aplicación móvil que aporte ventajas al turismo, el cual se ha comprobado que tiene gran importancia en España.

1.1.2. La realidad virtual

La realidad virtual nos permite simular una experiencia sensorial completa dentro de un ambiente artificial sin que se vea nada de lo que hay en el exterior. Para "meterte dentro" de este mundo virtual sueles necesitar tanto unas gafas especiales como unos auriculares.

Estas gafas tienen que estar especialmente diseñadas para esta realidad, y tener una pantalla que se monte justo delante de nuestros ojos. Hay dos tipos de gafas, las que tienen su propia pantalla incorporada como las Oculus Rift o las que necesitan que incorpores un smartphone para hacer de pantalla, como por ejemplo las Gear VR de Samsung.

Esta tecnología se puede encontrar en diferentes videojuegos, como puede ser la nintendo Switch. En la Figura 1.2 se pueden ver el dispositivo anteriormente comentado.



Figura 1.2. Dispositivos con los que se hace uso de Realidad Virtual

1.1.3. La realidad aumentada

La Realidad Aumentada se diferencia del resto por ser en la se complementa el entorno real con objetos digitales. Es decir, se ve todo lo que se tiene alrededor, pero el ordenador del equipo que se lleve frente a los ojos podrá reproducir sobre este entorno

objetos, animaciones o datos que realmente no están ahí. En la Figura 1.3 se ilustra un ejemplo de uso de un dispositivo con el que se puede realizar Realidad Aumentada.

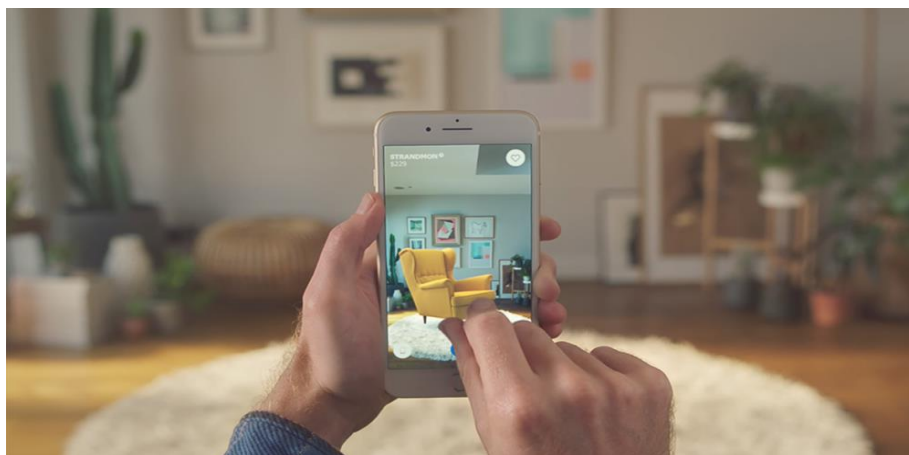


Figura 1.3. Uso de una aplicación basada en Realidad Aumentada

Esto permite, por ejemplo, poder ver cómo quedaría un mueble en tu habitación, algo que ya están utilizando algunas empresas. Si te gustan los juegos, también te permite recorrer las calles de tu ciudad capturando con tu móvil unos Pokémon que realmente no están ahí.

1.1.4. La realidad mixta

La realidad mixta o MR es una mezcla entre la realidad virtual y la aumentada. Es por lo tanto un entorno que mezcla los mejores aspectos de ambas, unificando la experiencia para que sólo necesites un único casco o gafas para poder utilizar una u otra.

Por un lado, la realidad virtual permite la sensación de estar en un mundo completamente digital, mientras que la aumentada nos deja imprimir objetos digitales en entornos reales. Por lo tanto, lo que hace la realidad mixta es unir ambos conceptos para permitirnos interactuar con objetos reales dentro de un mundo virtual, estar totalmente inmerso en un mundo completamente virtual, o reproducir elementos virtuales en nuestro entorno real. En la Figura 1.4 se puede apreciar un ejemplo de uso de la Realidad Mixta, en el que, concretamente, se puede ver que puede resultar muy ventajosa en medicina.



Figura 1.4. Ejemplo de uso práctico de la Realidad Mixta.

1.2. Objetivos

El principal objetivo de este Trabajo Fin de Grado consiste en el diseño y desarrollo de un asistente turístico basado en realidad aumentada. El fin de la misma es que los usuarios puedan obtener información de los elementos de que les rodean con tal solo el enfoque de la cámara de su dispositivo móvil. Además, esta aplicación cuenta con una base de datos remota, que ofrece la ventaja de poder acceder a la misma desde cualquier dispositivo móvil (siempre y cuando el usuario esté registrado), al estar toda la información almacenada en un servidor web.

Entrando más en profundidad, un usuario, una vez se ha registrado en la aplicación, podrá realizar la selección de la ruta que más le interese y, gracias a la realidad aumentada, poder obtener información detallada de los PDIs que forman parte de la ruta.

Para lograr el objetivo principal comentado, es necesario el planteamiento de otros objetivos:

- Realización de un análisis del mercado de la realidad aumentada, es decir, aplicaciones ya desarrolladas que utilicen esta tecnología.
- Diseñar los diferentes menús y funcionalidades y su posterior desarrollo.
- Dentro de la gran variedad de librerías que nos permiten la programación de realidad aumentada, la elección de la más adecuada para este proyecto. En este caso, ha sido Wikitude.

- Por último, realizar una serie de pruebas del conjunto de funciones y una documentación adecuada de las mismas.

1.3. Fases de desarrollo

Para cualquier proyecto tecnológico y, por tanto, para este TFG han sido necesarias tres etapas de desarrollo que se proceden a mencionar a continuación:

- FASE 1: Planificación

En esta etapa se ha definido el alcance del proyecto y se ha hecho la elección del lenguaje de programación y la librería de realidad aumentada más adecuada para llevar a cabo el asistente.

Además, se ha procedido a realizar un estado del arte dentro de los smartphones y de la realidad aumentada.

- FASE 2: Desarrollo

Etapla crucial y más larga del proyecto. Aquí se ha procedido a realizar un análisis más exhaustivo del diseño de la aplicación, es decir, se dividen las funciones del asistente en sub-módulos para favorecer a su implementación.

Por otro lado, se realiza un boceto a mano de los diferentes menús de la aplicación, su interfaz de usuario.

Una vez hecho esto se ha realizado la implementación detallada de todo lo comentado. Sobre este aspecto hay posteriormente un capítulo en el que se habla en profundidad.

Dentro de esta etapa hay un período de pruebas. En primer lugar, se hacen independientemente sobre cada módulo del sistema para luego proceder a realizarlas sobre la integración de todos ellos en el sistema.

- FASE 3: Documentación

Redacción del actual documento del Proyecto Final de Carrera y la elaboración de una presentación para su defensa ante un tribunal.

1.4. Medios y fuentes utilizadas

Este apartado comienza con una explicación de la documentación que se ha utilizado para realizar la memoria de este proyecto. Posteriormente, se hace un listado de todos los dispositivos que se han utilizado, dividiéndose éstos en software y hardware.

1.4.1. Documentación

Para realizar este documento se han visitado diferentes artículos de revistas científicas para hacer un proceso de investigación de la realidad aumentada y los dispositivos móviles en la sociedad actual. Para entender el funcionamiento de Wikitude, se han visitado blogs y documentación de su SDK.

Por otra parte, se han visitado blogs y vistos diferentes vídeos en los que se hablan de la realidad aumentada y diseño y programación con base de datos remota apoyándose sobre ejemplos concretos de su implementación.

Todas las referencias utilizadas para la realizar este proyecto han quedado listadas en el capítulo de bibliografía del final del documento.

1.4.2. Dispositivos hardware

Estos son los elementos físicos que han sido útiles para el desarrollo y sus correspondientes pruebas del proyecto:

- Ordenador portátil Lenovo con Windows 10.
- Smartphone Huawei P9 Lite con sistema operativo Android 7.0 Nougat.
- Smartphone Samsung J7 con sistema operativo Android 6.0.1 Marshmallow.

- Smartphone Sony Xperia M2 con sistema operativo Android 4.3 Jelly Bean.

1.4.3. Herramientas software

- Plataforma Android Studio con el uso de un dispositivo móvil virtual de Nexus 5 con sistema operativo Android 4.4 Kit-Kat.
- Plataforma de desarrollo de realidad aumentada Wikitude.
- Paquete Microsoft Office 2016 para Windows.
- Herramienta Google Drive para almacenamiento de documentos en la nube.
- Navegador web. Correo electrónico Gmail y Google Drive.
- Servidor web x10hosting para el diseño de la base de datos remota.

Cabe destacar que para el uso de algunas herramientas software utilizadas, como la librería Wikitude o el paquete Microsoft Office es necesario disponer de una licencia de pago. Sin embargo, para este proyecto se ha obtenido una clave gratuita para el caso de Wikitude, y una licencia por parte de UC3M para el uso del paquete Office 2016.

1.5. Mención al marco legal

El entorno socioeconómico, cultural, político-legal y tecnológico es de vital importancia para cualquier proyecto, tanto si es tecnológico, o de cualquier otro campo. En concreto, hay que tener en cuenta estos entornos tanto en el desarrollo de todo el proyecto, como en la toma de decisiones que posteriormente se produce. A lo largo de este apartado se hace mención al entorno político-legal, que está formado por las leyes, las agencias gubernamentales y los grupos de presión que influyen en los individuos y organizaciones de una sociedad determinada. Además, como una de sus principales tendencias la protección al consumidor.

Toda información obtenida para realizar este documento, como artículos de revista y páginas web han sido consultados y utilizados teniendo en cuenta los derechos de autor correspondientes. De acuerdo con el Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales, para el diseño de las bases

de datos utilizadas, que contiene información de los consumidores (nombres de usuario y contraseñas).

Con la aprobación de la Ley 19/2013, de 9 de diciembre, de transparencia, acceso a la información pública y buen gobierno, se reconoce y se garantiza a cualquier ciudadano el acceso a la información que esté en posesión de un organismo público. Por ello, la consulta de los dominios de páginas web consultados ha sido posible gracias a la previa asignación y gestión de los nombres de dominio “.es” por parte de “Red.es”. Esta es una entidad pública empresarial del Ministerio de Economía y Empresa que depende de la Secretaría de Estado para el Avance Digital.

Toda fuente externa utilizada para el desarrollo de este documento ha sido referenciada mencionando la autoría de la misma y la fecha en la que fue creada. Para los casos de texto, esta referencia está colocada en el mismo párrafo o frase, mientras que en el caso de las figuras están indicadas en el pie de dicha figura.

1.6. Entorno socioeconómico

En este apartado se realiza un análisis del entorno socioeconómico en el que se centra el proyecto. Concretamente, se comentan algunas de las ventajas y los inconvenientes más relevantes que tienen las nuevas tecnologías para los usuarios. Posteriormente, se analiza el presupuesto necesario para llevar a cabo el desarrollo de una aplicación móvil con las funcionalidades utilizadas.

1.6.1. Impacto socioeconómico

Durante los últimos años el mundo entero se ha centrado alrededor de los smartphones y sus funcionalidades. Estos dispositivos están cada vez más presentes tanto en la vida personal de los usuarios, como en su vida profesional. Sin embargo, esta nueva era de Smartphones que se ha generado tiene por igual ventajas y desventajas, por lo que es importante pensar en el impacto social de las aplicaciones móviles.

Merece la pena destacar que los dispositivos móviles están presentes en el día a día de las personas. Las aplicaciones han ayudado a la forma de comunicación entre las

mismas, generando así multitud de oportunidades de negocio, empleos, nuevas vistas de venta y promoción, que se centran en servicios online donde el impacto social de los smartphones es evidente. Por esto, estos dispositivos se han convertido en una herramienta de vital importancia para trabajar.

Siguiendo con esto, con las redes sociales se ha conseguido poner en contacto a lo usuarios de diferentes formas y con objetivos muy distintos. Sin embargo, no todos son ventajas, existe un principal inconveniente, que es debido al anonimato en internet, que conviene diferenciarlo de privacidad. La principal diferencia entre ambos términos es que el anonimato permite mantener oculta la identidad, pero no sus actividades. Esto puede tener ventajas, pero también puede dar propiciar la realización de actividades delictivas.

Por otra parte, en cuanto al impacto económico, cabe destacar que las aplicaciones móviles han permitido que los usuarios de las mismas puedan buscar empleo de una manera diferente. Además, ha generado nuevos puestos de trabajo, ya que en las empresas cada vez está interesadas en los desarrolladores especializados en diferentes lenguajes de programación, con los que es posible crear aplicaciones móviles.

1.6.2. Presupuesto del proyecto

En este apartado se va a realizar un análisis de los costes que han sido necesarios asumir para la realización de este proyecto. Este análisis es muy eficaz para entender en mayor medida el contexto económico en el que se envuelve dicho proyecto. Estos costes, básicamente se pueden diferenciar en personales, los asociados a recursos hardware y los asociados a los recursos software.

Para el caso de los costes del personal, se han tenido en cuenta una serie de roles que, considerando el número de horas que ha dedicado cada empleado y el coste del mismo por hora, se obtiene cada uno de los costes de cada participante. Todo esto se refleja en la Tabla 1.1:

Tabla 1.1. COSTES DE LA APLICACIÓN ASOCIADOS AL PERSONAL

Rol	Coste por hora	Número de horas	Coste total
Jefe de proyecto	50 €	200	10.000 €
Analista	30 €	450	13.500 €
Desarrollador	25 €	560	14.000 €
Gestión de pruebas	25 €	150	3.750 €
Gestión de documentación	15 €	560	8.400 €
Total			49.650 €

En la Tabla 1.2 se ha realizado un desglose de los costes relacionados al software. Para ello, se han tenido en cuenta las licencias proporcionadas por la universidad para el uso gratuito de diversas herramientas, al ser utilizadas con fines académicos. Además, se ha tenido en cuenta que se ha utilizado una clave de licencia gratuita para el uso de la librería Wikitude, aunque es posible el uso de una de pago, con mayores privilegios.

Tabla 1.2. COSTES DE LA APLICACIÓN ASOCIADOS A RECURSOS SOFTWARE

Recurso software	Coste
Microsoft Windows 10	0 €
Microsoft Office 2016	Licencia UC3M - 0 €
Licencia Wikitude	Clave de licencia gratuita - 0 €
Documentación – Wikitude	0 €
Documentación – Fuentes bibliográficas científicas	Licencia UC3M – 0 €
Servicio de almacenamiento en la nube Google Drive	Licencia UC3M - 0 €
Android Studio	0 €

En cuanto a los recursos hardware, que vienen reflejados en la Tabla 1.3, se ha considerado dispositivos móviles con diferentes versiones de Android, para así comprobar que, en especial las funcionalidades de realidad aumentada, funcionan correctamente en diferentes versiones. Además de estos dos dispositivos, se ha utilizado

un único ordenador portátil para el desarrollo de la implementación, y su correspondiente ratón inalámbrico.

Para tener todo esto en cuenta, se ha tenido en cuenta el coste imputable de cada componente, el cual viene dado mediante una relación con el porcentaje de uso que ha tenido ese elemento en el proyecto, y su período de amortización, que este suele ser igual a su vida útil.

$$\text{coste de amortización imputable} = \frac{\text{coste unitario} * \text{tiempo efectivo}}{\text{período de amortización}} \quad (\text{A.1})$$

Tabla 1.3. COSTES DE LA APLICACIÓN ASOCIADOS A RECURSOS HARDWARE

Recurso hardware	Coste unitario	Período de amortización	Tiempo efectivo	Coste imputable
Ordenador portátil Lenovo Z50 Intel i7 / 500 MB	900 €	60 meses	8 meses	120 €
Smartphone Huawei P9 Lite Android 7.0	300 €	36 meses	7 meses	58,33 €
Smartphone Samsung Galaxy J7 Android 8.1.0	200 €	36 meses	2 meses	11,11 €
Ratón inalámbrico hp	20 €	24 meses	8 meses	6,67 €
Total	1.420 €			196.11 €

Teniendo todos los costes hasta ahora calculados se puede realizar el cómputo de los costes directos del proyecto, el cual viene dado tan solo por la suma de los costes personales, los asociados a los recursos software y los asociados a los recursos hardware. Esta suma viene reflejada con detalle en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4. COSTES DIRECTOS TOTALES

COSTES DIRECTOS	
Personal	49.650,00 €
Asociados a recursos software	0 €

Asociados a recursos hardware	196,11 €
Total	49.846,11 €

Además, teniendo este coste se puede obtener una estimación de los costes indirectos. Estos son los que no tienen relación estrecha con el proyecto, como son la conexión a Internet o el consumo de electricidad. Se ha estimado que este coste se corresponde con el 15 % de los costes directos.

$$\text{costes indirectos} = \text{costes directos} * 0.15 = 7.476,91 \text{ €}$$

Sin embargo, estos costes calculados hasta ahora son antes de tener en cuenta el IVA correspondiente, que resulta el 21%. Por lo que, para finalizar, se ha tenido en cuenta este porcentaje, y se ha obtenido el coste total del proyecto en la Tabla 1.5:

Tabla 1.5. COSTE TOTAL DE LA APLICACIÓN

COSTE TOTAL	
Costes directos	49.846,11 €
Costes indirectos	7.476,91 €
Base imputable (antes del IVA)	57.323,02 €
Coste total (después del IVA)	69.360,85 €

1.7. Estructura de la memoria

Esta memoria tiene como objetivo explicar el desarrollo de una aplicación para dispositivos Android teniendo como base la realidad aumentada. Para ello, se hace especial énfasis a las tecnologías y herramientas que se han utilizado para conseguir dicho propósito. Una vez leído, el lector ha de ser capaz de entender el lugar que está empezando a ocupar la realidad aumentada en la sociedad, así como familiarizarse con el uso de las herramientas necesarias para desarrollar aplicaciones Android.

Para escribir este documento, se ha decidido seguir un desarrollo incremental, yendo desde los aspectos más genéricos a los más específicos, esto se consigue enlazando cada apartado de manera que cada uno dependa en cierta medida de los anteriores. Una

vez comentado esto, esta estructura contiene, sin contar con esta introducción, una serie de capítulos que se resumen a continuación:

- **Introducción:** este es un capítulo introductorio en el que se presentan los objetivos de este proyecto, así como las razones por las que se ha decidido utilizar las tecnologías utilizadas. Por último, se exponen diferentes aspectos económicos a los que se ha tenido que afrontar este proyecto. De igual manera, explica el impacto social que provoca el uso de los dispositivos móviles actualmente, y del uso de internet en los mismos.
- **Estado de la cuestión:** en este capítulo se realiza un estudio de la evolución de los dispositivos móviles, de los sistemas operativos que utilizan y de la realidad aumentada. Además, se realiza un análisis de diversas herramientas con la que es posible la programación de RA, y se aclara un razonamiento por el que se ha elegido la más adecuada para este proyecto. Por último, se realiza una mención al marco regulatorio por el que se rige el desarrollo de este proyecto.
- **Descripción del sistema:** en este capítulo se realiza una descripción de la aplicación desarrollada, en concreto, realiza una presentación del sistema en el que se explican los objetivos de la aplicación. Se analizan todas las herramientas y lenguajes necesarios para su implementación y protocolos que la aplicación necesita durante su ejecución. En el último apartado de este capítulo se explica con la ayuda de capturas de pantalla el ciclo de ejecución del programa.
- **Evaluación:** se realiza una encuesta a diversos usuarios sobre su experiencia con el uso de la aplicación. Este capítulo puede resultar útil para saber los aspectos que la aplicación puede mejorar.
- **Conclusiones y trabajo futuro:** se realiza una conclusión del resultado de este proyecto. Se hace una valoración de la implementación resultante, es decir, se describen las dificultades que ha tenido el desarrollo de la misma. Por último, se listan una serie de ideas de nuevas funcionalidades y modificaciones que pueda tener posteriormente la aplicación.
- **Anexo A - Requisitos y manual de instalación:** en este anexo se listan los elementos de los que el usuario tiene que disponer para poder instalar la aplicación en el Smartphone. Posteriormente, se indica un manual de su instalación.
- **Anexo B – Resumen de contenidos en inglés:** se expone un breve resumen de todos los puntos relevantes de este proyecto.

- **Glosario:** listado alfabético de los conceptos más técnicos del proyecto. Con una breve explicación de los mismos.
- **Bibliografía:** se trata de una sección en el que se listan, con el estándar IEEE, todas las referencias utilizadas para la obtención de información durante el desarrollo de este documento.

2. ESTADO DEL ARTE

En este segundo capítulo se describe del marco de trabajo utilizado para desarrollar la aplicación. Para hacer esto, principalmente se tratan dos grandes puntos; el estado del arte en los sistemas móviles, en el que cuenta la evolución de los mismos, teniendo en cuenta sus características y al lenguaje en el que trabaja la aplicación del sistema operativo Android. Por otro lado, se hace un estudio de la historia de la realidad aumentada, haciendo referencia al uso que se le ha dado a lo largo de los años.

Una vez finalizado este estudio, se podrá entender de mejor manera las facilidades que tiene la realidad aumentada para la sociedad actual, gracias a la evolución de los dispositivos móviles con el paso de los años.

3.1. Estado del arte en sistemas móviles

Durante estos últimos años se ha podido notar la notable expansión del mundo de los dispositivos móviles. Hasta llegar a tal punto que, hoy en día, todos los usuarios disponen de un smartphone. Esto es debido, entre otras razones, a que el avance de la tecnología ha permitido reducir al mínimo los componentes, al mismo tiempo que aumentar su autonomía y rendimiento, y sin olvidar su increíble portabilidad.

El principal componente en todo dispositivo móvil es el microprocesador, se suele llamar, por analogía, el “cerebro” de un smartphone u ordenador. A lo largo de la historia la tecnología se ha centrado en disminuir el tamaño de este elemento, obteniendo cifras inferiores a 1 mm² de tamaño. A continuación, se comentan los microprocesadores más populares que existen actualmente en el mercado [3]:

- **Snapdragon 820 Processor Qualcomm:** este microprocesador Está equipado con el módem x12 LTE (Frente al X10 LTE del Sanpdragon 810) que permite velocidades de descarga de hasta 600 mbps y compatible con agregación de portadoras en configuraciones de hasta 3x20 MHz.
- **Apple A9:** Tiene una arquitectura de 64-bits a 1.85GHz de velocidad y un CPU de doble núcleo llamado Twister. También incorpora una memoria RAM de 2GB. Cuenta con una memoria caché L1 a 64KB para datos y 64KB para

instrucciones, una memoria caché L2 a 3 MB compartidos por ambos núcleos y una memoria caché L3 a 4MB que sirve por completo al SoC.

- Samsung Exynos 8890: este procesador mide tan solo 14 nm, con un sistema de 8 núcleos, 4 de ellos principales de 2.6 GHz y los 4 restantes secundarios de 1.53 GHz.

Este elemento fundamental de los smartphones se integra en la llamada placa base, en la cual existen multitud de sensores y hardware para dar soporte a tecnologías como Bluetooth, GPS, acelerómetro, sensor de temperatura, movimiento, dispositivos de entrada y salida de audio, entre muchos otros.

Por todas estas funcionalidades que aportan estos dispositivos, es razonable pensar que la población está cada vez más interesada en este mundo, provocando así que el grado de penetración sea muy elevado.

Por ello, en cuanto a las aplicaciones, la descarga de las mismas ha aumentado exponencialmente con el paso del tiempo. La primera app llegó al mercado hace 10 años y desde entonces se han utilizado cada vez más. Tanto es así que, a día de hoy, más del 80% del tiempo de los usuarios se lo dedican al dispositivo móvil. En la Figura 2.1 se representa el grado de penetración de los Smartphones en España.



Figura 2.1. Grado de penetración de smartphones en España [35]

En 2017 se descargaron 178.1 miles de millones de aplicaciones móviles, esta cifra ha aumentado este año y se espera que aumente considerablemente en los próximos. Esto se representa en la Figura 2.2, en la que se puede comprobar la evolución de las descargas de aplicaciones móviles hasta la actualidad.

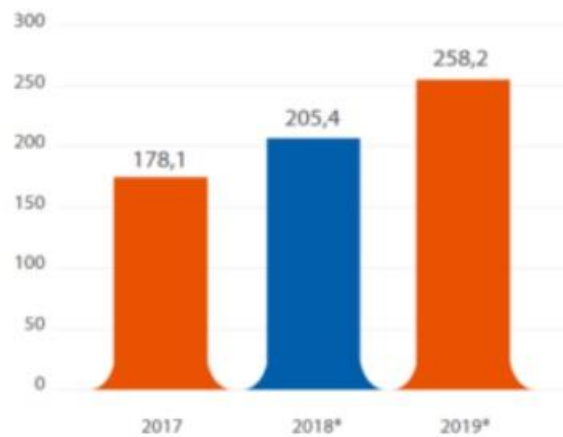


Figura 2.2. Número de descargas de apps móviles [4]

3.1.1. Sistemas operativos móviles

Todo dispositivo móvil tiene la necesidad de disponer de un sistema operativo que pueda organizar las ejecuciones y administrar el hardware. Son de ellos de los que depende el aprovechamiento de los recursos. Es por esto por lo que han evolucionado sobremanera, ya que se ha conseguido optimizar los recursos del sistema, proporcionando así una mayor autonomía a la batería.

En la actualidad, se utiliza en mayor manera el teléfono móvil para navegar por internet que el ordenador de sobremesa o un portátil. Este hecho también es debido a que un SO móvil es diseñado de manera diferente a la de uno de sobremesa, es decir, en el caso del móvil ha sido creado para aportar la mayor conectividad inalámbrica posible. Sin embargo, esto no quiere decir que las computadoras vayan a ser desbancadas, ya que su sistema operativo es mucho más potente y versátil. Además, la capacidad de un ordenador de sobremesa es mucho mayor que la de un dispositivo móvil. Por ello, actualmente se cuenta con un sistema de almacenamiento en la nube, para poder acceder a los datos desde cualquier parte a través de internet.

Hay dos sistemas operativos predominantes en el mercado de los teléfonos móviles, estos son Android y iOS. Estos son los que ocupan casi la totalidad de la cuota de mercado, por los que son de los que se va a hablar en profundidad. Sin embargo, en la historia ha habido otros sistemas operativos que fueron importantes, entre ellos cabe destacar Windows Phone.

La Figura 2.3 representa un diagrama de barras en el que se comparan la cuota de mercado de Android, iOS y Windows Phone durante el pasado año (barra de color oscuro) y durante este año (barra de color claro). Se puede apreciar que Android tiene claramente la mayor cuota de mercado, seguida de iOS. Sin embargo, ésta última ha tenido un crecimiento, al contrario de Android, durante este año. Estas dos dejan poco espacio para la competencia, como Windows que solamente ocupa un 0.3% del mercado, cayendo prácticamente a 0 durante 2018.

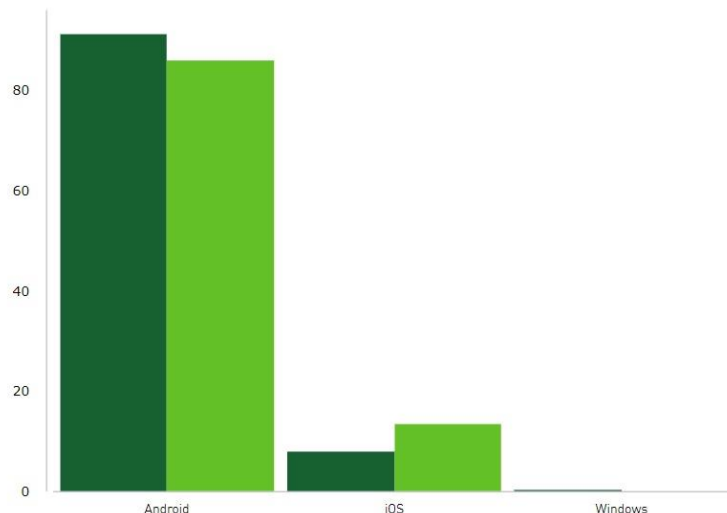


Figura 2.3. Comparativa de la cuota de mercado entre iOS y Android [5]

iOS

Este sistema operativo tuvo éxito en el mercado ya con la primera versión que salió al mercado. Steve Jobs bautizó esta versión como OS X, un sistema de Tipo Unix. Las dos razones por las que ya empezó con tanto éxito es que, fue el primer dispositivo con pantalla táctil, por lo que se le pudieron introducir cantidad de características. Sin embargo, la principal desventaja es que no se podía descargar nuevas aplicaciones debido a que aún no disponía de App Store.

Las siguientes actualizaciones fueron muy importantes. Por ejemplo, con la llegada de OS 2 llegó la App Store. La versión OS 3 fue la primera en ser compatible con un iPad, a lo que se le introdujeron elementos para que las aplicaciones fueran más completas que en el iPhone. La cuarta versión, iOS 4, fue la primera en desarrollar la multitarea [6], por lo que fue un avance importante ya que Android empezaba a ser una

amenaza. En 2011 llegó el famoso Siri con iOS 5, aunque obviamente tenía limitaciones respecto del actual.

En 2012, Apple decidió prescindir de los servicios de su máximo rival, Google, creando una aplicación de mapas preinstalada en el dispositivo. Aunque Apple no consiguió competir con Google Maps, un porcentaje aceptable de usuarios utilizaba ya aplicación preinstalada, conocida bajo el nombre de Apple Mapas.

En las siguientes modificaciones no hubo cambios sustanciales, ha sido un tiempo de maduración para iOS.

Si fue importante iOS 11, con la que se presentó ARKit, un conjunto de herramientas para desarrolladores que permiten la creación de aplicaciones de realidad aumentada usando iPhone como punto de seguimiento de tres dimensiones. Además, incorporó numerosas innovaciones que tienen que ver con la personalización del dispositivo, y funcionalidades como la de escribir a Siri o guardar mensajes en iCloud [7].

La última versión ha sido creada en 2018, es iOS 12, e incorpora mejoras en su rendimiento, así como nuevas interfaces para que su uso sea mucho más intuitivo [8]. Así nuevos métodos de privacidad, por ejemplo, Safari impide que los botones de compartir y widgets de comentarios de las páginas web sigan nuestro rastro sin consentimiento propio. Además, evita que los anunciantes recopilen información sobre los ajustes del dispositivo para que no haya publicidad personalizada en la navegación.

Este sistema operativo cuenta con cuatro capas de abstracción, la capa del núcleo del sistema operativo, la capa de “Servicios Principales”, la capa de “Medios” y la capa de “Cocoa Touch”. En la Figura 2.4 se puede ver de una manera más clara la forma en la que se organizan las capas de este sistema operativo, cada una de ellas cumpliendo una diferenciada funcionalidad en iOS.

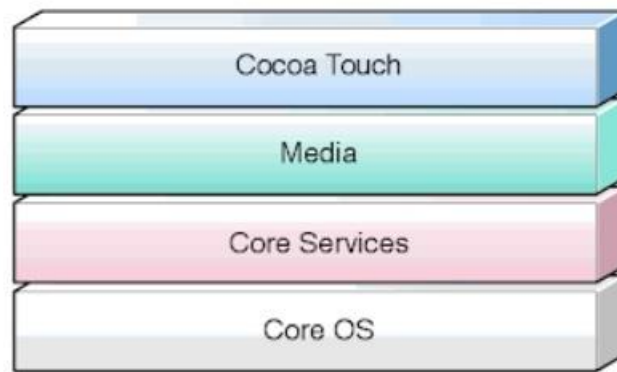


Figura 2.4. Capas de iOS [9]

Las diferentes capas contienen diferentes servicios, la más baja contiene características de bajo nivel, como los ficheros del sistema o manejo de memoria. La capa más elevada es la más importante para el desarrollo de las aplicaciones de iOS al contener API.

Windows Phone

Windows Phone tuvo un inicio complicado, debido a que Android y iOS llevaban ya llevaban tiempo repartiéndose la gran cuota del mercado. Como todos los inicios son complicados, Windows Phone tuvo que hacer su lanzamiento con una idea novedosa para captar el interés de los usuarios.

Este sistema fue creado con el lanzamiento de Windows Phone 7, por parte de Microsoft, en octubre del 2010. Esta versión dispone de control por voz y gestos, aunque este último ya estaba presente en otros sistemas operativos [10]. Además, dispone de un centro de control llamado hub, en el que se almacenan todas las imágenes realizadas por la cámara, las que están ya guardadas en el teléfono o las que provienen de las redes sociales [11]. Esta versión posteriormente recibió actualizaciones para incorporar mejoras en cuanto al rendimiento del sistema.

Más adelante salieron al mercado nuevas versiones menos relevantes, hasta que llegó la versión 8, que se adapta perfectamente a las pantallas HD gracias a un nuevo sistema de mosaicos. La velocidad también se vio mejorada, así como sus características multimedia y de comunicación gracias a Nokia Maps e Internet Explorer 10. Sin embargo, los usuarios notaban carencias, como la ausencia de un centro de notificaciones o de un asistente de voz [12].

La última versión desarrollada por esta compañía fue Windows 10 Mobile con un sistema denominado Continuum [13]. Este sistema permite utilizar el dispositivo móvil como si fuera un PC [14], es decir, se puede conectar un monitor, un teclado y un ratón para controlar el dispositivo con dicho hardware. También se puede activar una segunda pantalla de forma inalámbrica mediante una conexión de red.



Figura 2.5. Conexión de hardware al dispositivo móvil gracias a Continuum

Sin embargo, en los últimos meses Windows Phone, tal y como he comentado anteriormente, ha perdido mucha cuota de mercado. Una de las principales razones por la que ha ocurrido esto es que ha recibido muy poco apoyo por parte de los operadores y fabricantes, que les ofrecieron terminales de segundo nivel incapaces de competir con la gama alta de iOS y Android [15].

Android

Android fue concebido por la empresa Android Inc. y posteriormente fue comprado por la empresa Google en el año 2005. Como se ha comentado anteriormente, siempre ha sido la principal competencia de iOS, por lo que, en la actualidad, es el sistema que ocupa la mayor parte de cuota de mercado en España. Esto es así debido a que es un sistema abierto y libre, por lo que permite al usuario personalizarlo de muchas más maneras que un sistema iOS. Por esto, cualquier persona puede realizar una aplicación de forma más sencilla.

A continuación, se muestra una figura en la que se representa de forma esquematizada la arquitectura de este sistema operativo, con sus diversas capas, y las funcionalidades que tiene cada una.

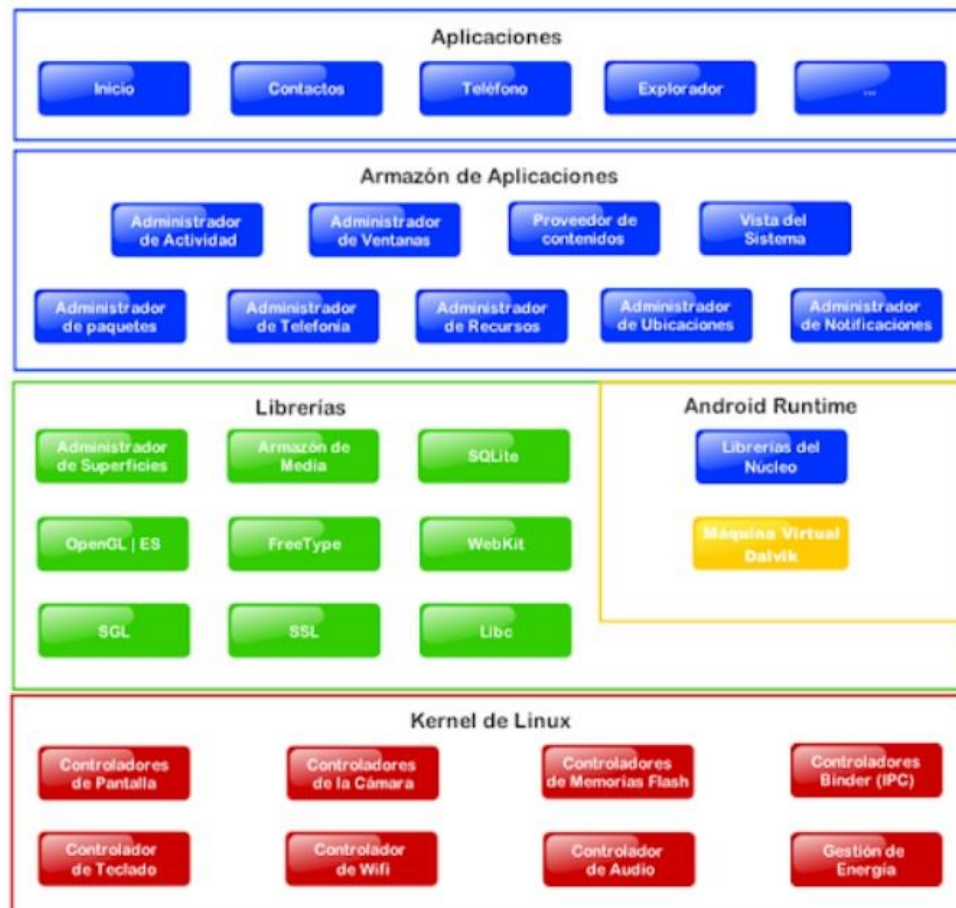


Figura 2.6. Esquema de la arquitectura de Android [16]

Pero la principal ventaja de este sistema operativo es su portabilidad, además de que es libre basado en núcleo Linux. A continuación, se procede a explicar con el mayor detalle posible las diferentes capas que componen la arquitectura de este OS móvil.

- **Aplicaciones:** Este nivel contiene, tanto las que el dispositivo tenga instaladas por defecto como las que el usuario vaya instalando posteriormente. Todas estas aplicaciones usan los servicios, las API y librerías de los niveles anteriores. Es en esta capa donde se desarrolla el código correspondiente a este proyecto.

- **Framework de aplicaciones:** en esta capa se encuentran todas las herramientas de desarrollo de cualquier aplicación, es decir, se encuentran todas las API que el usuario cree, o que ya estén almacenadas para su libre uso. Por ejemplo, aquí es en donde se encuentra la librería Wikitude para la realidad aumentada de mi aplicación.
- **Bibliotecas:** la mayor parte de las librerías de Android están desarrolladas en C o en C++, que proporcionan a Android la mayor parte de sus capacidades más importantes. Por ejemplo, hay librerías que permiten la creación de bases de datos relacionales, otras para manejar modelos en 3D.
- **Tiempo de ejecución de Android:** al mismo nivel que las librerías de Android se sitúa el entorno de ejecución. Este está compuesto de multitud de clases Java y la máquina Dalvik, que se encarga, principalmente, de coger los programas escritos en Java y ejecutarlos, haciendo las funciones de comunicación entre la aplicación Java y el entorno nativo anteriormente escrito.
- **Núcleo Linux:** capa de vital importancia, ya que es la que realiza las llamadas correspondientes a los elementos hardware para que estos puedan ser utilizados, esto se consigue gracias a los drivers que se encuentran en esta capa. Por lo que, aquí es en donde se realiza la gestión de memoria y de procesos del sistema.

Esta es la arquitectura que ha utilizado Android en todas sus versiones. En la Tabla 2.1 se realiza un listado de todas las versiones que ha tenido este sistema operativo con sus fechas de lanzamiento [17].

Tabla 2.1. VERSIONES DE ANDROID Y FECHAS DE LANZAMIENTO

Nombre de versión	Número de versión	Fecha de lanzamiento
Apple Pie	1.0	23 de septiembre de 2008
Banana Bread	1.1	9 de febrero de 2009
Cupcake	1.5	25 de abril de 2009
Donut	1.6	15 de septiembre de 2009
Eclair	2.0 - 2.1	26 de octubre de 2009
Froyo	2.2 - 2.2.3	20 de mayo de 2010

Gingerbread	2.3 - 2.3.7	6 de diciembre de 2010
Honeycomb	3.0 - 3.2.6	22 de febrero de 2011
Ice Cream Sandwich	4.0 - 4.0.5	18 de octubre de 2013
Jelly Bean	4.1 - 4.3.1	9 de julio de 2012
KitKat	4.4	31 de octubre de 2013
Lollipop	5.0 - 5.1.1	12 de noviembre de 2014
Marshmallow	6.0-6.0.1	5 de octubre de 2015
Nougat	7.0 – 7.1 – 7.1.1 – 7.1.2	15 de junio de 2016
Oreo	8.0 – 8.1	21 de agosto de 2017
Pie	9.0	6 de agosto de 2018

Todas estas versiones introdujeron en el sistema operativo un avance nuevo hasta llegar, poco a poco, a lo que actualmente se conoce.

- **Android 1.0 Apple Pie:** fue la primera versión con una tienda de aplicaciones como tal, pero solamente podían publicarse apps y juegos gratuitos.
- **Android 1.1 Banana Bread:** introdujo el Google Voice Search, por el que el usuario tenía la posibilidad de usar el buscador mediante comando por voz.
- **Android 1.5 Cupcake:** con la aparición de esta versión se eliminaron de los dispositivos los teclados físicos, ya que nacieron las pantallas táctiles, gracias a las cuales se pudieron incorporar teclados virtuales.
- **Android 1.6 Donut:** esta fue la primera en incluir soporte para diferentes tamaños de pantalla. Por otro lado, también introdujo mejoras en todas las aplicaciones preinstaladas en el sistema.
- **Android 2.0 y 2.1 Eclair:** esta aparición fue importante ya con ella nació la navegación GPS Google Maps. También introdujo multitud de mejoras revolucionarias como el ajuste automático del brillo o la preinstalación de Facebook.

- **Android 2.2 Froyo:** con esta actualización se podía controlar todo el sistema mediante comando por voz. La mejora clave de esta versión fue la optimización de su rendimiento gracias al compilador Dalvik JIT.
- **Android 2.3 Gingerbread:** hubo una serie de modificaciones en la resolución de las pantallas de los dispositivos para que los colores de su interfaz fueran más intensos, favoreciendo así a su lectura por parte de los usuarios. Además, fue la primera versión en contar con conectividad NFC.
- **Android 3.0 Honeycomb:** aquí se dio el paso de llevar este sistema operativo fuera de los smartphones, a las tablets. Por lo que salió al mercado la primera tablet con sistema operativo Android, la Motorola Xoom.
- **Android 4.0 Ice Cream Sandwich:** esta actualización introdujo mejoras en el diseño de la interfaz, afianzándose las líneas de diseño Holo, que se crearon ya anteriormente con la versión Honeycomb.
- **Android 4.1 y 4.2 Jelly Bean:** en esta versión se implementaron los servicios de Google Play, permitiéndose así las actualizaciones de todas las aplicaciones del sistema por parte del usuario y de Google.
- **Android 4.4 KitKat:** también de gran importancia, gracias a esta se introdujo el sistema Project Svelte en la memoria RAM para que esta consumiera menos, optimizando así la velocidad general del sistema. Como curiosidad, esta fue un acuerdo que realizó con una compañía alimentaria (Nestlé) para dar nombre a una versión.
- **Android 5 Lollipop:** esta fue un punto de inflexión en la historia de Android, con la llegada de Material Design. Este diseño se basa en que las interfaces de las aplicaciones, webs y menús de este sistema tuvieran una apariencia similar, la cual estaría basada en incluir sombras y elevaciones virtuales sobre un lienzo tridimensional. Otra mejora importante fue el aumento del rendimiento del sistema operativo para soportar aplicaciones en java de 64 bits.

- **Android 6 Marshmallow:** aquí se introdujo un sistema de gestión de permisos granular, es decir, un usuario modificar los permisos de las aplicaciones manualmente. Esto permite que cuando un usuario instale una aplicación, al ejecutarla por primera vez aparecerán pestañas para dar a elegir al usuario si desea que la aplicación tenga diferentes accesos al dispositivo, como a los contactos, o a la galería.
- **Android 7 Nougat:** introdujo cambios importantes que tienen que ver con aumentar la sencillez en el uso de este sistema. Con esta versión se permite acceder a funciones rápidas de aplicaciones a través de una pulsación larga desde el icono. Otra modificación importante fue la división del almacenamiento del sistema en dos particiones diferentes; una de ellas sería usada para los datos y aplicaciones del usuario, y la otra estaría deshabilitada por defecto, su uso se restringe a las actualizaciones del sistema.
- **Android 8 Oreo:** esta actualización se centra en hacer que las aplicaciones sean más sencillas y eficientes. Esto se consigue gracias a Project Treble, por el que se produce una separación de los drivers con el resto del código relacionado con el hardware.
Más adelante, con la versión 8.1 aparecen implementaciones de Inteligencia Artificial y Machine Learning en sus apps.
- **Android 9.0 Pie:** esta es la última versión desarrollada por Android y por el momento solo está disponible para dispositivos concretos. Incluye sistemas de ahorro de energía como DOZE, mejoras de rendimiento con ART y nuevo panel de ajustes rápidos, entre otras modificaciones.

3.2. Estado del arte en realidad aumentada

En este apartado se ha hablar con mucho detalle de la realidad aumentada. En concreto, se va a comentar la evolución que ha tenido este concepto, así como de su funcionamiento en teléfonos inteligentes. También se hará un listado de la algunas de las aplicaciones existentes en el mercado que se basan en realidad aumentada, así como una explicación de sus objetivos.

3.2.1. Antecedentes

Los sistemas de Realidad aumentada han evolucionado mucho a lo largo de la historia de la informática. Asimismo, cada vez ha sido más conocido hasta llegar al punto de ser una tecnología de gran utilidad, tal y como se verá más adelante. A continuación, se describe la cronología que ha tenido la RA en todos estos años.

El primer instrumento que guarda relación con la realidad aumentada apareció en la segunda mitad del siglo XX, concretamente en el año 1962 por parte de Morton Heilig. Se trataba de un prototipo llamado *Sensorama* [18]. Aunque a primera vista esta máquina está más ligada a la realidad virtual, también tiene aspectos de realidad aumentada. Las imágenes que mostraba estaban sin editar, se trataba de una simulación de estar montado en una bicicleta y, a medida que avanzaba, surgían nuevos estímulos sensoriales al usuario, es decir, información adicional.



Figura 2.7. Imagen Sensorama

Por lo tanto, hasta ahora se puede decir que la realidad aumentada y la virtual están estrechamente relacionadas. En 1966, un profesor de Ingeniería Eléctrica de Harvard, Ivan Sutherland, creó un dispositivo que sería clave en el futuro, el HMD o *Human Mounted Display* [19]. Un concepto que se aproxima a las gafas actuales. Sin embargo, estaban basadas en un apartado de enorme tamaño colgado del techo, por lo que no era portátil. Este invento fue evolucionando poco a poco pareciéndose cada vez más a lo que se conoce actualmente. Fue en la década de los 90 cuando se vio que estas tecnologías podían ser viables. Además, los conceptos de realidad aumentada y virtual ya habían quedado mucho más diferenciados.

El año 2008 fue un punto de inflexión para la AR. Fue el año en el que salió a la venta Wikitude, concretamente, el 20 de octubre de ese mismo año [20]. Esta librería fue originalmente creada con el propósito de proveer una base de ubicación de forma en realidad aumentada; sin embargo, en 2012 evolucionó para dar lugar también a reconocimientos de imágenes, seguimientos y tecnología geológica.

El siguiente año también fue un año de gran importancia, fue en el año en el que AR Toolkit es portado a Adobe Flash (FLARToolkit), por lo que la realidad aumentada llegó al navegador web. También es una biblioteca que permite superponer imágenes de la vida real a la realidad aumentada. Por ello, esta aplicación debe contar con una cámara para dar a conocer el tiempo real y la ubicación en la que se encuentran.

Durante los siguientes años, este concepto evolucionó hasta dar lugar a lo que actualmente se conoce: una tecnología explotada por multitud de empresas y que tiene muchas aplicaciones y utilidades.

3.2.2. *Últimos avances*

El interés por la realidad aumentada no ha dejado de crecer en los últimos años. Tanto es así que las empresas están creando aplicaciones de los más novedosas que mezclan esta tecnología con otras también de lo más innovadoras. Son muchos los ejemplos que demuestran esta afirmación, a continuación, se explican algunos de ellos [21].

Realidad aumentada para penetrar en la mente de la inteligencia artificial

En un futuro, la robótica estará presente en nuestro día a día, es decir, cada hogar tendría un robot que realizará las tareas diarias. Por ello, cada vez es más elevado el interés por facilitar la comunicación entre los seres humanos y los autómatas. Esto se consigue gracias a la combinación con la realidad aumentada.

La primera idea con este planteamiento apareció en 2012 con el nacimiento del llamado TouchMe, un sistema que permitía al usuario manipular cada parte del robot e interactuar con objetos. A partir de aquí, la ingeniería se ha centrado en desarrollar nuevas formas de que robots y humanos trabajen juntos.

En la actualidad, se ha llegado al punto de poder interactuar con el mundo que nos rodea utilizando la realidad aumentada o la realidad mixta gracias a las Microsoft HoloLens. Con esta tecnología, se puede hacer que los robots utilicen un lenguaje natural para que puedan comunicarse más fácilmente con los seres humanos.

Facebook: los nuevos avances de la realidad aumentada

Esta tecnología también está empezando a ser explotada por las redes sociales. El éxito en RA podría traer grandes recompensas a Facebook. El negocio de publicidad de la compañía, impulsado por la actividad y el tiempo invertido en sus aplicaciones, se tradujo en 26.9 mil millones de dólares en ingresos en 2016. Los efectos de AR generan una porción cada vez mayor del tiempo total en la red social, alentando a los usuarios a enviar mensajes con mayor frecuencia.

Facebook lanzó su plataforma Camera Effects y AR Studio hace menos de un año, pero desde entonces no ha progresado mucho, aparte de abrir AR Studio para todos los desarrolladores a partir de diciembre. Sin embargo, Facebook está actualmente trabajando en ofrecer una gama mucho más amplia de contenido, es decir, podrá comenzar a crear experiencias vinculadas a espacios físicos.

La realidad aumentada de Google Lens

Esta tecnología relativamente joven, lanzada en octubre de 2017, tiene como propósito llevar la realidad aumentada a los dispositivos móviles, es decir, captura e

identifica lo que la cámara está enfocando, y muestra al usuario información relevante. Esta tecnología hasta ahora solamente estaba disponible en inglés y solamente para un dispositivo, el Google Pixel 2. Hace poco, está disponible en todos los dispositivos y se puede acceder a ella en español, pudiéndose encontrar en Fotos y Assistant.

La Figura 2.8 representa un ejemplo de funcionamiento de Google Lens en un dispositivo móvil. Se puede apreciar que, con el punto azul de la pantalla, el usuario sabe sobre qué objeto capturado se va a mostrar información relevante.



Figura 2.8. Aplicación Google Lens

Fusión de la realidad aumentada con el internet de las cosas

Estas son dos tecnologías que actualmente están en auge debido a la innovación que están generando en múltiples áreas. El internet de las cosas permite una interconexión digital entre diferentes objetos cotidianos mediante internet [22].

Existen multitud de ámbitos en los que se encuentra presente el Internet de las Cosas. Actualmente se está utilizando en domótica, que permite, por ejemplo, mantener seguro el hogar mediante aplicaciones que pueden conectarse a las cámaras de la vivienda. También está presente en relojes inteligentes, muy relacionados con la salud, es decir, estos dispositivos pueden recoger información del paciente que llega hasta sus doctores, quienes pueden realizarle la visita de control sin que el paciente se desplace a la clínica.

La fusión entre estas dos tecnologías es más comúnmente conocida bajo el nombre de realidad mixta. La arquitectura de esta aplicación se consigue mediante la interconexión de una serie de componentes que cumplen una función determinada. A continuación, se presenta un diagrama de la misma en la Figura 2.9.

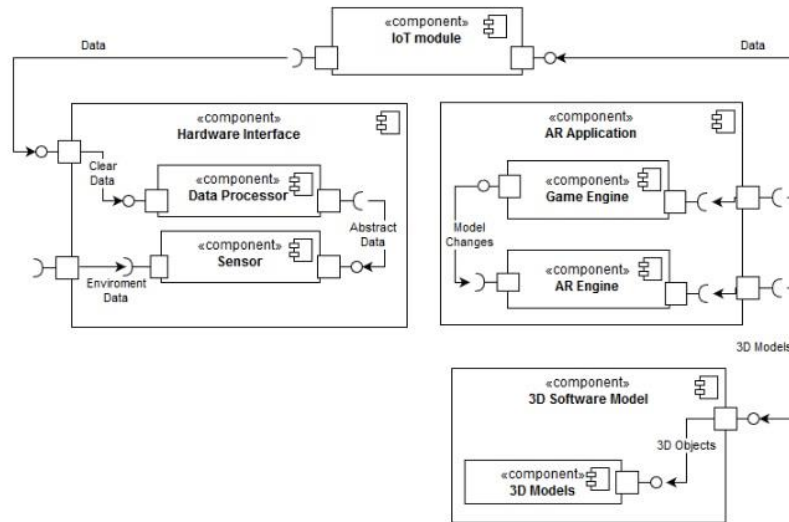


Figura 2.9. Arquitectura de la fusión de AR con IoT

En esta arquitectura se pueden apreciar simplemente tres componentes, que a su vez se dividen en sub-componentes. Los módulos principales son descritos a continuación:

- **Interfaz Hardware:** componente encargado de recabar y procesar los datos del mundo real. Este cuenta con un sensor para captar dichos datos y un procesador para el manejo de los mismos.
- **Software de modelado 3D:** es el encargado de hacer el modelado de los objetos 3D que serán utilizados en el entorno virtual.
- **Aplicación RA:** componente encargado de aplicar cambios en los modelos 3D, trabaja en función de los datos recibidos por el interfaz de hardware. Este contiene un motor de juego para crear el entorno virtual 3D, así como de un motor de RA para trabajar la realidad aumentada dentro del motor de videojuegos.

Se realizó una aplicación como prueba de lo explicado anteriormente. La aplicación consiste en la demostración de una interacción de objetos del mundo virtual

con los del mundo real. Para esto, un modelo tridimensional de una burbuja (es decir, objeto virtual), “explota” al entrar en contacto con un sensor ultrasónico (objeto real). En las siguientes figuras se muestra el sensor y el marcador utilizados, así como el modelado 3D de la aplicación.

En la Figura 2.10 se representa el sensor y el marcador utilizados para dicha aplicación, mientras que en la Figura 2.11 el modelado tridimensional del objeto virtual.

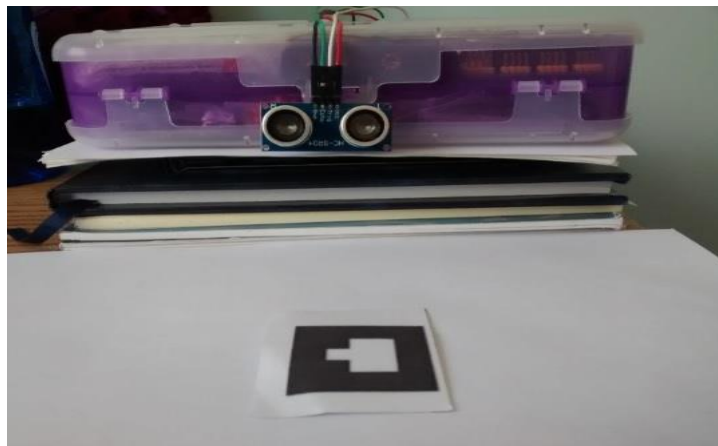


Figura 2.10. Sensor y marcador utilizados para la aplicación de prueba de la fusión AR-IoT

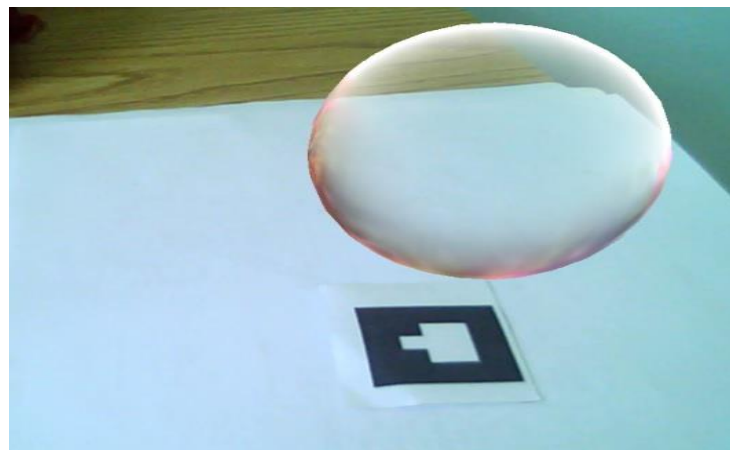


Figura 2.11. Modelado 3D utilizado para la aplicación de prueba de la fusión AR-IoT

3.2.3. Componentes de la Realidad aumentada

Para entrar en más profundidad en este tema, conviene citar los componentes que la componen, y explicar las funciones básicas que de las cuales son responsables [23]:

- **ARCamera:** este componente representa la escena de realidad aumentada, que muestra la imagen capturada directamente por la cámara del dispositivo. El usuario puede configurar los aspectos como la orientación de la pantalla, la cámara (frontal o superior), entre otros. Además, usando el componente ARCameraOverlay asociado con el ARCamera, puede aparecer una barra de navegación en la pantalla.
- **ARTrackers:** este componente se corresponde con los elementos físicos utilizados para probar la realidad aumentada. Este elemento físico puede ser un marcador, un objeto externo (como una imagen) o un texto. Este componente maneja eventos, es decir, como cuando el elemento es reconocido por la cámara, cuando cambia su posición o cuando desaparece.
- **ARAssets:** por último, este componente permite a los usuarios definir los objetos virtuales que se representarán en una posición determinada de la pantalla, cuando un objeto físico es detectado por la misma. Estos elementos pueden ser texto, imágenes 2D o modelos 3D. Los objetos virtuales también pueden rotar, mover de posición los modelos 3D, o alejar o acercarlos usando los dedos.

3.2.4. Aplicaciones que utilizan RA

Como se ha comentado anteriormente, este concepto es cada vez más conocido, y, por lo tanto, es utilizado por más empresas del mercado. Por ello, cada vez más desarrolladores de software están más interesados en crear aplicaciones que utilicen realidad aumentada.

Antes de dar ejemplos concretos de aplicaciones que la utilicen, conviene comentar algunos de los ámbitos en los que se utilice:

- **Medicina:** particularmente la cardiología, puede asistirse de este tipo de medios para complementar la información disponible en otros formatos, y pasarlos a la tridimensionalidad, desde donde la interpretación de imágenes sobre objetos 3D está servida para estos propósitos. En definitiva, es una forma de llevar a cabo cirugías asistidas.

- **Turismo:** cada vez más relacionado. La realidad aumentada puede ser de gran utilidad para los turistas que demandan más información de los lugares que visitan sin renunciar a la independencia de organizar sus propias rutas.
- **Entretenimiento:** teniendo en cuenta que el mercado de los juegos mueve cada vez a más población, es comprensible que la realidad aumentada quiera aprovecharse de ello creando juegos basados en esta tecnología.
- **Educación:** esta relación trata de buscar un método diferente de aprendizaje, más visual, es decir, basado en el descubrimiento. Ayuda a reforzar y asentar los conocimientos mediante la visualización de modelos 3D.
- **Geolocalización:** la realidad aumentada geolocalizada nos permite acceder a diferentes contenidos dependiendo del lugar en el que el usuario se encuentre. Con la creación de capas a nivel global conseguimos incluir información en cualquier parte del mundo sin tener que estar en el lugar.
- **Mantenimiento industrial:** la capacidad de inmersión que ofrece la RA permite aumentar las capacidades y las oportunidades de la gestión, manipulación y acción remota en el ámbito de control de drones, ejecución de acciones en ubicaciones de acceso complejo, etc.
- **Automoción:** en estos últimos años los nuevos automóviles sacados a la venta ya utilizan realidad aumentada. Se puede utilizar esta tecnología como método de ayuda a la conducción, por ejemplo, saber la trayectoria que va a seguir el vehículo (mediante una pantalla multimedia en el salpicadero) cuando se está dando marcha atrás a la hora de estacionar.

Además de éstos, la realidad aumentada está presente en muchos más ámbitos, por lo que queda clara la utilidad de la misma. Por ello, son muchas las aplicaciones existentes en el mercado que ayudan a los usuarios tanto en su vida, tanto personal, como profesionalmente. Algunas de las más famosas y con mayor número de descargas se

muestran en la Tabla 2.2. Algunas de las siguientes aplicaciones están relacionadas con el turismo, como Guideo, que fue la primera app turística creada con Realidad Aumentada, Turismo de Galicia, que ya cuenta con más de 5.000 descargas en Play Store y Visuartour.

Tabla 2.2. APLICACIONES BASADAS EN REALIDAD AUMENTADA

Nombre	Dispositivos	Descripción	Precio
4D Anatomy	iPhone y iPad	El usuario tiene la posibilidad de tener la sensación de entrar dentro del cuerpo humano para así aprender de una forma mucho más visual. Muy útil para usarlo en cualquier momento.	Gratuita
Google translate	iOS, Android.	Su objetivo es hacer que el usuario pueda traducir texto sin necesidad de escribir nada. Tan solo tiene que apuntar con la cámara el texto a traducir y seleccionar el idioma al que quiere desea que sea traducido.	Gratuita
Pokemon GO	iOS, Android	Este juego utiliza el GPS para marcar la ubicación y mover al avatar del usuario en el juego. Utiliza la cámara para poder ver los Pokemon que pueda haber en el	Gratuita, pero se pueden realizar compras integradas.

		entorno y poder capturarlos.	
Sky guide AR	iOS, Android	Con esta aplicación el usuario tan solo tiene que apuntar con la cámara al cielo para ver las constelaciones, estrellas y planetas que hay sobre ese lugar. Incluso se pueden ver los satélites que orbitan alrededor de la Tierra.	3.49 euros
Guido.	iPhone y iPad	Con esta aplicación el turista, mientras está haciendo una ruta, puede superponer imágenes a lo que está viendo a través de la cámara para poder simular una experiencia que se puede vivir en ese lugar.	Gratuita. Los precios de las rutas de pago oscilan entre los 0.89 y 2.69 euros
Amikasa	iPhone y iPad	El usuario tiene la posibilidad de, por ejemplo, amueblar una habitación virtualmente antes de comprar los muebles. Con el enfoque de la cámara, el usuario superpone imágenes de muebles, a lo que	Gratuita

		les puede modificar el color.	
Ingress.	iOS y Android.	Ingress es un juego de geolocalización que aprovecha todo el potencial de uno de los productos estrella de Google: Google Maps. En este juego el usuario se puede poner el papel de un agente secreto que debe realizar misiones y recoger objetos.	Gratuita.
Turismo de Galicia	iOS y Android.	Permite al usuario ver sobre la pantalla de su móvil, en modo cámara fotográfica, los recursos y servicios que tiene a su alrededor.	Gratuita
Visuartour	Android.	Si el usuario está utilizando la aplicación desde casa, simplemente apuntando su teléfono móvil hacia el Target que estará impreso en el folleto turístico o imprimiéndolo desde su página web turística podrá contemplar en todo su esplendor el monumento. En caso de estar visitando su ciudad, podrá ver cómo se construyeron originalmente, como si estuviera allí mismo.	Gratuita

3.2.5. Plataformas de desarrollo de RA

Existen muchas plataformas para el desarrollo de realidad aumentada, algunas libres y otras privadas. La mayoría de las privadas pueden ser utilizadas, como se comentará más adelante, de forma gratuita, pero con algunas restricciones y con una marca de agua en la pantalla. Después de haber realizado una investigación, aquí se listan las más importantes:

- **Wikitude** [24]: se trata de un proveedor de tecnología de realidad aumentada móvil con sede en Salzburgo, Austria. Fundada en 2008, Wikitude inicialmente se concibió con el objetivo de proporcionar experiencias de realidad aumentada basadas en la ubicación a través de la aplicación Wikitude World Browser. En 2012, esta compañía lanzó el SDK de Wikitude, un marco de desarrollo que utiliza reconocimiento de imágenes y seguimiento, y tecnologías de geolocalización.

Pero lo que la hace verdaderamente especial a esta SDK es que permite que el uso de tecnologías web (HTML; JavaScript, CSS) para desarrollar aplicaciones de realidad aumentada. Esta es una SDK de descarga gratuita, sin embargo, para poder utilizarla también gratuitamente se tiene que asumir una serie de restricciones, como un número limitado de imágenes a reconocer tanto el tamaño de las mismas. Asimismo, habrá en la pantalla del dispositivo una marca de agua con el nombre “Trial”.

- **Qualcomm Vuforia** [25]: esta SDK admite una variedad de tipos de objetivos, tanto 2D como 3D y es capaz de detectar varios tipos de etiquetas. Está disponible para iOS y para Android y, al igual que Wikitude, tiene a su disposición un tutorial de iniciación y un foro con gran cantidad de ejemplos.

Asimismo, el API está bien documentado, por lo que esto facilita su consulta y su uso. Una vez realizada su descarga, su instalación también es sencilla, con tan solo referenciar la librería desde el entorno de desarrollo es suficiente (esto ocurre de la misma manera con Wikitude). Por último, esta plataforma ofrece una versión gratuita con limitaciones de funcionamiento. Para poder obtener la versión sin esas restricciones, es necesario instalar la versión de pago.

Estas son las dos plataformas de desarrollo más importantes con la que se puede crear realidad aumentada. Aparte de las SDK, también existen bibliotecas con la que desarrollar RA, aquí se pasan a comentar las dos más famosas:

- **OpenCV** [26]: es una biblioteca libre de visión artificial originalmente desarrollada por Intel. Se trata de una biblioteca multiplataforma que contiene más de 500 funciones que abarcan una gran gama de áreas en el proceso de visión como reconocimiento de objetos.

OpenCV tiene una estructura modular. Los módulos principales de esta biblioteca son los siguientes:

- Core: incluye estructuras de datos básicas y las principales funciones de procesamiento de imágenes.
 - Highgui: provee de la interfaz de usuario, códecs de imagen y vídeo y capacidad para capturar imágenes.
 - Imgproc: incluye algoritmos básicos para procesamiento de imágenes.
 - Video: incluye algoritmos de seguimiento de objetos.
 - Objdetect: incluye algoritmos de detección y reconocimiento de objetos estándar.
- **ARToolKit** [27]: es una biblioteca con la que se puede crear realidad aumentada gracias al seguimiento de la cámara. Para entrar en más detalle, con este seguimiento se calcula la posición de la cámara y la orientación de los marcadores físicos. Después, se puede colocar la cámara virtual en ese mismo punto, pudiendo así colocar modelos en 3D sobre el marcador real.

En la Tabla 2.3 se muestran otras herramientas de software libre para el desarrollo de realidad aumentada. En dicha tabla se puede apreciar si se trata de una herramienta web o de una aplicación (como Wikitude o Vuforia), si existe documentación con tutoriales, y si tiene código libre para el uso de cualquier desarrollador.

Tabla 2.3. HERRAMIENTAS PARA EL DESARROLLO DE REALIDAD AUMENTADA [28]

Nombre de la herramienta	Web / Aplicación	Documentación con tutoriales	Código abierto
FLARToolkit	Aplicación	Sí	No
BuildAR	Aplicación	No	No
ATOMIC	Web / Aplicación	No	No
SketchUp	Aplicación	Sí	No
Ezflar	Web	Sí	Sí

Finalmente, de entre todas estas posibilidades, se decidió por utilizar la SDK de Wikitude para este proyecto, debido a su facilidad a la hora de uso y por disponer de multitud de documentación. Sin embargo, se ha tenido que asumir la limitación del tamaño de los objetivos a reconocer, así como la marca de agua en la pantalla.

3.3. Librería de realidad aumentada Wikitude

Wikitude SDK, tal y como se ha comentado anteriormente, es una biblioteca de software y un marco para aplicaciones móviles utilizadas para crear experiencias de realidad aumentada. El SDK admite cualquier tipo de caso de uso basado en la ubicación, así como casos de uso que requieren el conocimiento de imágenes y tecnología de seguimiento. En los siguientes apartados se procede a explicar con detalle la arquitectura de esta librería, así como los conceptos básicos necesarios para su entendimiento y el ciclo de vida que tiene una aplicación desarrollada con la misma.

3.3.1. Arquitectura

En Figura 2.12 se muestra la arquitectura de esta SDK, que, como se puede observar, está compuesta por diferentes módulos. Cada uno de éstos se basa en ciertos entornos de desarrollo y plataforma

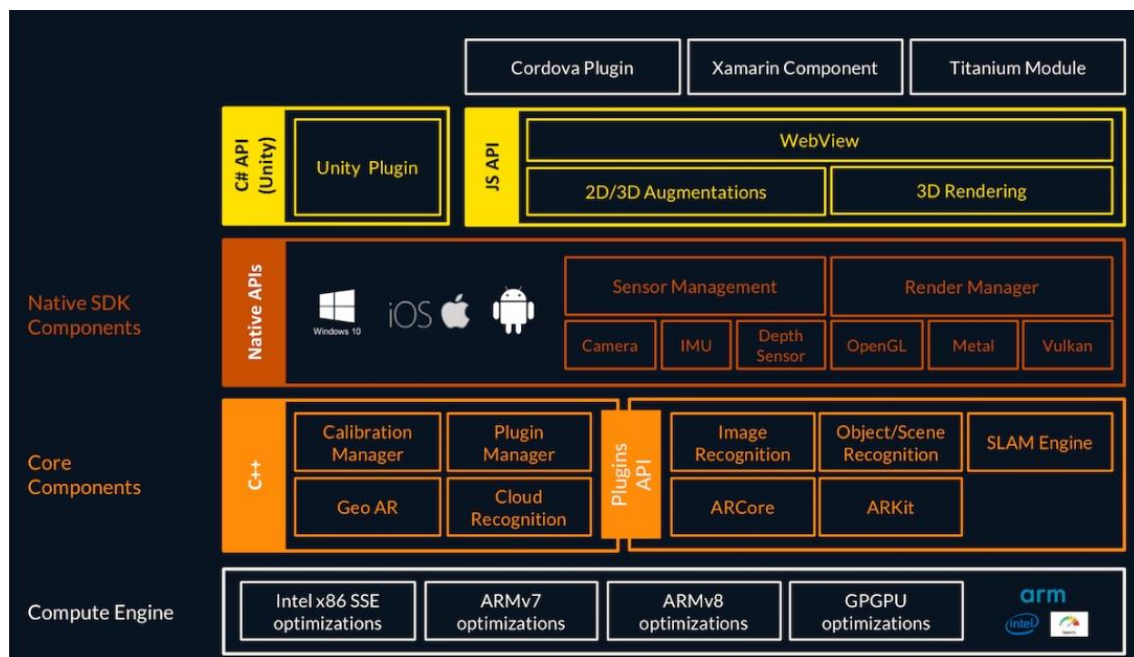


Figura 2.12. Esquema de la arquitectura de Wikitude [29]

- **Computer Vision Engine:** es el centro del motor de la SDK de Wikitude, por lo que se encuentra en todas las plataformas. Está formado por tres partes: SLAM Engine, Image Recognition Engine y Object Recognition.
- **Wikitude SDK - API Nativa:** proporciona acceso al motor de visión de Wikitude de forma nativa para Android y iOS.
- **Wikitude SDK - JavaScript API:** permite desarrollar mundos de realidad aumentada en base a HTML y JavaScript. Está disponible para Android y iOS. La API de JavaScript proporciona acceso al motor de visión.
- **Wikitude SDK - Plugins API:** una API para conectar sus propios elementos al SDK de Wikitude.
- **Wikitude SDK - Cordova Plugin:** además de la API de JavaScript, este complemento permite utilizar el SDK en combinación con Apache Cordova.

- **Wikitude SDK – Titanium Module:** este módulo permite utilizar el SDK en combinación con Titanium.
- **Wikitude SDK - Unity3DPlugin:** permite utilizar el SDK en combinación con Unity.
- **Wikitude SDK - Xamarin Component:** al igual que los anteriores, este módulo permite desarrollar aplicaciones con este SDK en combinación con Xamarin.

3.3.2. *Conceptos básicos*

Para poder entender cómo desarrollar con este SDK es imprescindible entender tres conceptos básicos en relación con el reconocimiento de objetivos físicos.

- **Target:** básicamente es un conjunto de datos extraídos por una imagen para posteriormente ser rastreados por la cámara del dispositivo móvil.
- **Target Management:** se trata de una herramienta web en la que, previo proceso de registro, es posible subir todas las imágenes que van a ser detectadas por la aplicación para poder obtener el archivo con extensión wtc.
- **Target Collection:** como su propio nombre indica, es un conjunto de Target que van a ser identificados con el tracker. El Target Collection es un archivo con extensión wtc que se genera en el portal de Wikitude.
- **ClientTracker:** es el rastreador que identifica la foto. Una vez enfocada la foto con la cámara, el tracker busca una coincidencia en el Target Collection para el rastreo de la misma.

3.3.3. Ciclo de vida de una aplicación con Wikitude

El ciclo de vida de una aplicación con Wikitude no es diferente al de una aplicación Android genérica. Se puede apreciar en la Figura 2.13 como este ciclo de vida se divide en diferentes estados. Además, estos estados dan lugar a sub-ciclos de vida que se pasan a comentar a continuación:

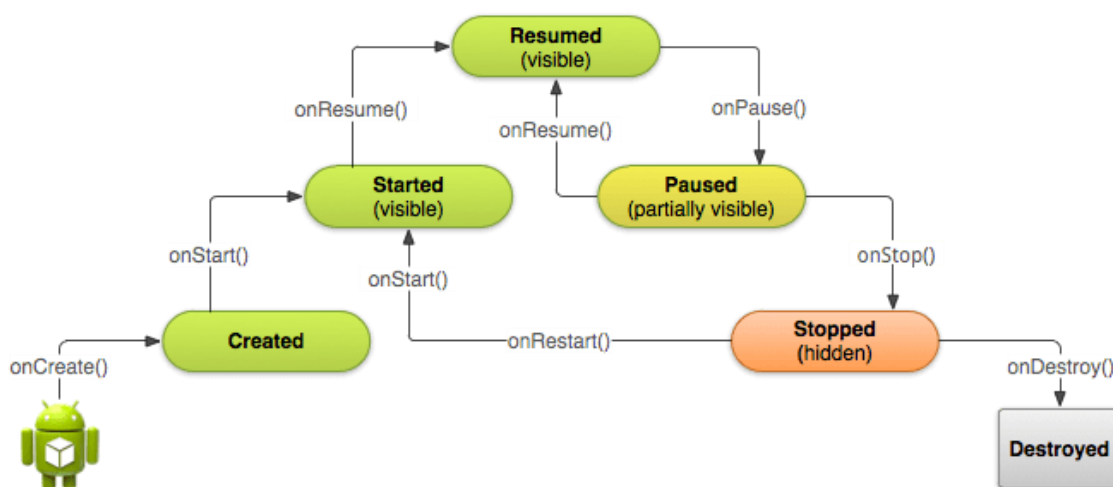


Figura 2.13. Ciclo de vida de una aplicación Android [30]

- **Ciclo de vida completo:** este transcurre entre las llamadas a *onCreate()* y *onDestroy()*. En el método *onCreate()* se inicializan todos los procesos que van a ser ejecutados durante el ciclo de vida, y se liberan todos ellos en la llamada a *onDestroy()*.
- **Ciclo de vida visible:** tiene su comienzo con la llamada a *onStart()* y su fin con la ejecución de *onStop()*. Se trata de un ciclo de vida en el que el usuario que utiliza la aplicación realmente está viendo en la pantalla del dispositivo el proceso que se está ejecutando, pudiendo interactuar con el mismo.
- **Ciclo de vida en primer plano:** actividad que transcurre entre las llamadas *onResume()* y *onPause()*. Durante este tiempo, hay varias actividades en ejecución, pero solamente una de ellas tiene la interacción con el usuario. Un

proceso puede salir del primer plano con el método *onPause()*, por ejemplo, cuando el dispositivo entre en suspensión. De forma contraria, ese proceso puede volver al primer plano con la llamada a *onResume()*.

Sin embargo, en el diagrama de estados completo hay métodos de transición que en este proyecto no se han utilizado. A continuación, se pasan a comentar aquellos que son los más importantes en una aplicación Android, y que se han utilizado para el desarrollo de esta aplicación:

- **onCreate:** esta es una llamada para crear una actividad por primera vez. En este caso, se configuran y establecen todos los dispositivos que van a utilizar la RA como pueda ser, principalmente, la cámara y la interfaz web.
- **onPostCreate:** este método no se utiliza en todas las aplicaciones de Android. Sin embargo, para Wikitude es necesario. Después de esta llamada se arranca el entorno de realidad aumentada y el servicio web. Además, es el que permite la comunicación entre el entorno web y el entorno Java.
- **onDestroy:** es la última llamada que se realiza en la ejecución. Se liberan todos los procesos que se inicializaron al comienzo de la aplicación, así de los subprocesos que se han ido necesitando. En este caso, indica a Wikitude que finalice todos sus recursos.
- **onResume:** en esta etapa la aplicación Android ya se está ejecutando. Después de esta llamada, se le puede indicar a Wikitude que comience la identificación de los objetivos guardados en el Target Collection.

3.3.4. Necesidades del terminal

Durante el desarrollo y las pruebas de la aplicación, se ha utilizado el Smartphone Huawei P9 Lite. Sin embargo, una vez finalizada la aplicación, se han realizado pruebas con otros dispositivos para comprobar la compatibilidad de Wikitude con versiones de Android más modernas.

En la Tabla 2.4 se muestra una comparativa con los recursos que requiere Wikitude para su correcto funcionamiento, con las características técnicas del Huawei P9 Lite utilizado.

Tabla 2.4. COMPARATIVA DE LOS REQUISITOS DE WIKITUDE CON CARACTERÍSTICAS DE HUAWEI P9 LITE [31].

Característica	Requisito	Huawei P9 Lite	Válido para el proyecto
Procesador	2 GHz o más.	2 GHz.	Sí
Memoria RAM	1 GHz o más.	2 GHz.	Sí
Memoria principal	La necesaria para almacenar un máximo de 50.000 objetivos a un máximo de 3 MB cada uno (limitaciones de la versión gratuita de Wikitude).	16 GB	Sí
GPS	Alta precisión.	GPS con soporte A-GPS y GLONASS.	Sí
GPRS	3G o 4G.	3G y 4G.	Sí
Cámara delantera	Alta definición.	13 MP.	Sí
Cámara trasera	Alta definición.	8 MP.	Sí
Pantalla	Alta resolución con tamaño entre 4.5 y 6.5 pulgadas.	1080 x 1920 pixels. Tamaño de 5.2 pulgadas.	Sí
Android	Versión 4.X en adelante.	7.0 Nougat.	Sí

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En este capítulo se hace una descripción global del funcionamiento del sistema, así como de las herramientas que se han utilizado para el desarrollo del mismo. Al final de esta parte, se podrá observar un esquema genérico en el que se explica la interacción de todos los módulos que componen la aplicación. Más adelante, en el capítulo cuatro, se hablará con toda la profundidad que se requiere de todos ellos, para así poder entender todas sus funcionalidades.

3.1. Presentación del sistema

El asistente turístico implementado ofrece el siguiente conjunto de funcionalidades:

- Un usuario puede acceder a la aplicación ingresando su nombre de usuario y su contraseña. Del mismo modo puede registrarse en la misma.
- Cuando un usuario accede, puede filtrar su búsqueda de la ruta a realizar seleccionando la categoría que más le interese en ese momento.
- Una vez que el usuario ha iniciado la ruta, puede ver un listado de los puntos de interés que componen la misma.
- Asimismo, siempre tiene la opción de iniciar la cámara para que, cuando enfoque el punto de interés interesado, pueda ver más información acerca del mismo. Es decir, cuando la cámara reconoce un punto de interés, se superponen en la pantalla tres elementos:
 - Una imagen relacionada con el punto de interés tratado, como, por ejemplo, una imagen de ese mismo lugar en la historia.
 - Un botón que, con su pulsación, se abre el navegador web con una página mostrando información de ese lugar o monumento.
 - Un botón que al ser pulsado se activa la síntesis de voz, con la que el turista puede escuchar una descripción de ese punto de interés.

Todas estas funcionalidades se explican con profundidad la forma en la que se han logrado durante todo este capítulo. En concreto, se explican las herramientas que se han utilizado, y la forma en la que se han utilizado para el desarrollo de esta aplicación.

3.2. Herramientas utilizadas

Tal y como se ha comentado anteriormente, para llevarse a cabo el desarrollo de esta aplicación ha sido necesario el uso de ordenador portátil, así como de un dispositivo móvil con sistema operativo Android 7.0. Para entrar más en detalle, han sido necesarias diferentes herramientas y recursos que se van a detallar a continuación.

- **Android Studio:** plataforma de desarrollo de aplicaciones Android con Java. Integra utilidades de APIs de Android, depuración y generación de aplicaciones. Informa de los problemas de compilación y ejecución del código y aporta comentarios para corregirlos. Además, permite la instalación de un terminal móvil virtual para poder realizar pruebas de la aplicación sin necesidad de disponer continuamente de uno físico.
- **Wikitude Target Tool Manager:** a grandes rasgos es una librería gratuita de la SDK de Wikitude ubicada en la web que permite subir imágenes que el asistente turístico va a tener que rastrear. Al subir la/las imágenes, Wikitude devuelve un archivo con extensión wtc que es que el utilizará la aplicación para el reconocimiento de las mismas.
- **Sintetizador de voz TTS (Text To Speech):** como bien dicen sus siglas no es más que un sistema de lectura de frases, que pasa un texto escrito, a un formato de audio leído.
- **Google Drive:** para llevar a cabo un control sobre las versiones de desarrollo que tenían tanto la aplicación como este documento, ha sido necesario el uso de una herramienta de almacenamiento en la nube. Esta misma también ha sido la idónea para realizar copias de seguridad que pueden ser accedidas desde cualquier otro dispositivo.
- **Servidor web x10hosting:** servicio de alojamiento web gratuito con el que se consigue almacenar información que necesita la aplicación y poder acceder a la misma de forma remota. Esto se explica en detalle en el siguiente apartado.

3.2.1. Servidor web x10hosting

Para poder obtener todas las funcionalidades ha sido necesario almacenar cantidad de información, como el nombre de los usuarios registrados con sus contraseñas, las categorías de las rutas, los nombres de las mismas, así como diversa información de los puntos de interés. Todos estos datos han sido almacenados en tablas para poder acceder a las mismas mediante consultas SQL.

Las características principales y recursos que ofrece este servidor remoto son las siguientes:

- *cPanel*.
- 1 GB de almacenamiento y 10 de banda ancha.
- Cuentas FTP.
- Cuentas de e-mail.
- Posibilidad de agregar dominios y subdominios.
- Servidor Apache 2.2.
- Auto-instalador de scripts.
- Posibilidad de almacenar scripts de PHP, Perl, Python, entre otros, para su ejecución en remoto.
- Soporte técnico a través de fotos.
- Acceso al administrador de bases de datos *phpMyAdmin* 4.1.8.

Asimismo, gracias a x10hosting se ha conseguido las siguientes funciones de la aplicación, todas ellas tienen que ver con un acceso a la base de datos remota:

- Registro e identificación mediante un nombre de usuario y una contraseña.
- Acceso a la base de datos para listar todas las categorías disponibles para que el usuario pueda filtrar la ruta deseada.
- Acceso a la base de datos para listar todas las rutas disponibles una vez que se ha seleccionado la categoría necesaria.
- Listado de todos los puntos de interés pertenecientes a una ruta en concreto.
- Acceso a la base de datos para obtener la descripción de un punto de interés. Útil para la síntesis de voz.

Para poder empezar a almacenar información en este servidor, es necesario crear un nombre de dominio asociado al mismo, en este caso, tal y como muestra la Figura 3.1, ha sido llamado *proyectourism.x10.mx*. En este nombre de dominio se han almacenado todos los ficheros PHP necesarios para ejecutar las consultas necesarias a la base de datos.

Desde este menú, se puede llegar al área en el que el desarrollador puede gestionar las bases de datos MySQL de la cuenta web. Esto se representa en la Figura 3.2, en la que se puede apreciar que se ha creado una base de datos llamada *proye208_users*. En esta base de datos se han incorporado todas las tablas necesarias para el correcto funcionamiento de la aplicación. En este menú también hay un enlace a *PHPMysqlAdmin* (se hablará de ello en el apartado 3.2.3), así como en el que se indica la IP del host remoto del servidor.

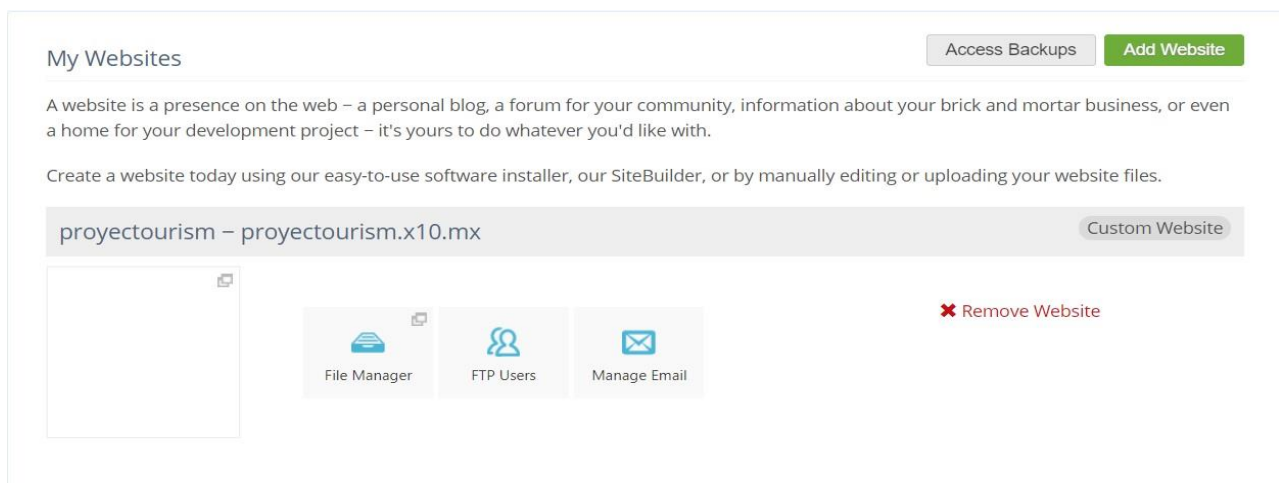


Figura 3.1. Administrador de ficheros de x10hosting

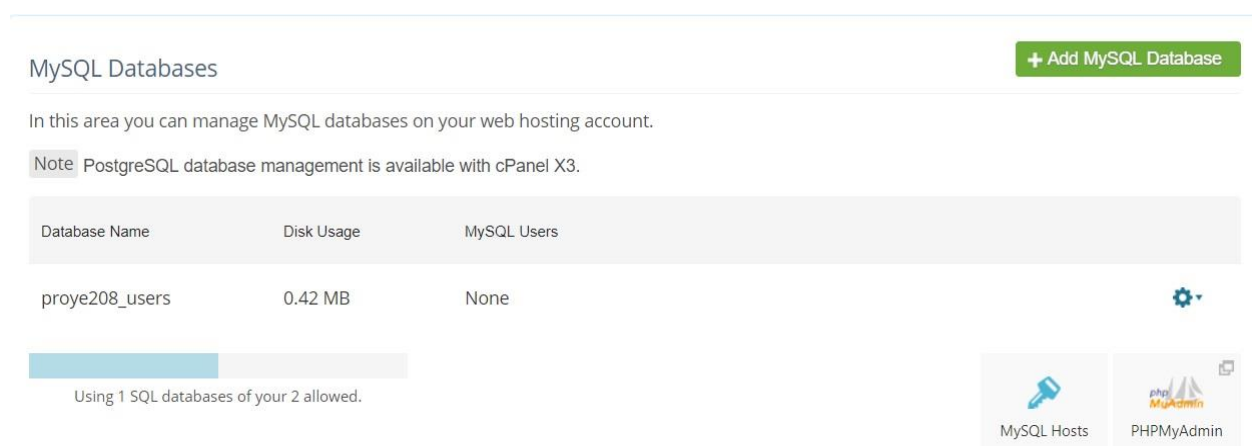


Figura 3.2. Captura de pantalla de las bases de datos de x10hosting

3.2.2. *MySQL*

El software MySQL es un sistema de gestión de bases de datos relacionales y está considerada como la base de datos de código abierto más popular del mundo, junto con Oracle y Microsoft SQL Server, sobre todo para entornos de desarrollo web.

MySQL ofrece multitud de características de gran utilidad para conseguir una gestión de las bases de datos lo más sencilla y eficiente posible. Algunas de las mismas se listan a continuación [32]:

- Está implementado en C y en C++.
- Relativamente sencillo de añadir a otro sistema de almacenamiento. Esto es útil si desea añadir una interfaz SQL para una base de datos propia.
- Uso completo de multihilo, es decir, pueden usarse fácilmente múltiples CPUs si están disponibles.
- Pueden usarse diferentes tipos de columnas. Estos principalmente son FLOAT, DOUBLE, CHAR, VARCHAR, TEXT, BLOB, DATE, TIME, DATETIME, TIMESTAMP, YEAR, SET, ENUM y otros tipos especiales.
- Se pueden usar diferentes tipos de sentencias.
 - Proporciona un soporte completo para operaciones y funciones en las cláusulas de consultas SELECT y WHERE.
 - Tiene sentencias para juntar información de diferentes tablas con las consultas LEFT JOIN, RIGHT JOIN e INNER JOIN.
 - Las consultas DELETE (borrado de filas), INSERT (inserción de filas), REPLACE (reemplazamiento de texto) y UPDATE (modificación de valores) devuelven el número de filas que se han cambiado.
 - Hay un comando específico para mostrar toda la información de la base de datos. Se consigue con SHOW.
- Tiene un complejo sistema de seguridad en el que todas las contraseñas están encriptadas en el servidor.
- Gran escalabilidad, es decir, tiene soporte para crear gran cantidad de tablas en una base de datos. Asimismo, se permiten hasta 64 índices por tabla, pudiendo cada índice consistir hasta 16 columnas, con un ancho máximo de 1000 bytes.

- En la versión 5.0, es posible que los servidores, gracias a la opción *–shared-memory*, usen memoria compartida para sus conexiones. Los clientes pueden acceder a esa memoria compartida con la opción *–protocol=memory*.
- El servidor puede proporcionar mensajes de error a los clientes en diferentes idiomas. Además, tiene soporte completo para distintos tipos de caracteres.
- Por último, MySQL tiene soportes para comandos SQL para chequear, optimizar y reparar tablas. Estos comandos están disponibles a través de la línea de comandos y el cliente *mysqlcheck*.

A lo largo del desarrollo de esta aplicación, ha sido necesario el uso de MySQL en multitud de funcionalidades. Por ejemplo, cuando un usuario se registra con un nombre de usuario y contraseña, esta información se introduce en la base de datos mediante una consulta INSERT. El uso de la sentencia SELECT es usada cuando se quiere obtener información de la base de datos para que aparezca en la pantalla del dispositivo, como las categorías, las rutas o los puntos de interés.

3.2.3. *PHPMysqlAdmin*

Es una herramienta de software libre escrita en PHP, destinada a manejar la administración de MySQL a través de la web. Esta herramienta dispone de una interfaz web muy intuitiva, tiene soporte para la mayoría de características de MySQL:

- Explorar y eliminar bases de datos, así como tablas, vistas, campos e índices.
- Crear, copiar, renombrar y alterar el contenido de las bases de datos, tablas, campos e índices.
- Ejecutar, editar y marcar cualquier declaración SQL, incluso consultas por lotes.
- Administrar cuentas de usuario y privilegios de MySQL.
- Administrar procedimientos almacenados y disparadores.

La interfaz gráfica de esta herramienta se muestra en la Figura 3.3, en esta captura se puede ver todas las tablas de la base de datos, así como las funciones para poder gestionar las bases de datos y las tablas de las mismas.

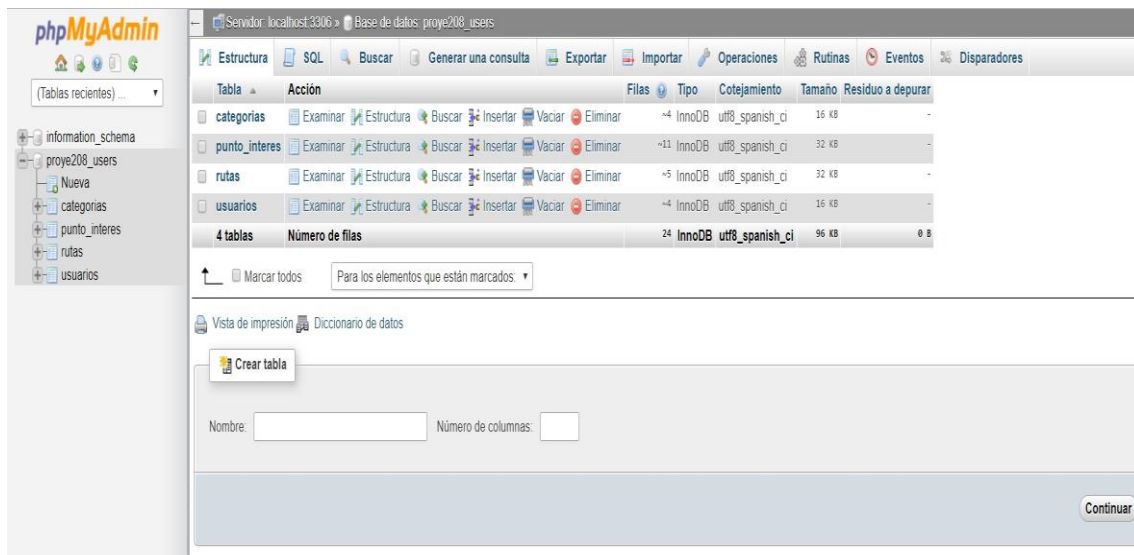


Figura 3.3. Interfaz gráfica de phpMyAdmin

Organización de las tablas de la base de datos:

En esta base de datos, como he comentado anteriormente, se han creado una serie de tablas, a continuación, se pasa a dar una explicación sobre la función que cumple cada una en este asistente turístico. En todas ellas hay un número entero a modo de identificación de las filas, también muy útil para hacer claves externas a otra tabla:

- Tabla *usuarios*: aquí se encuentra el nombre de cada usuario y su contraseña, de manera que, cuando un usuario se registra en la aplicación, se crea una nueva fila en esta tabla. Y cuando ingresa su nombre de usuario y su contraseña para acceder, se comprueba la validez de la contraseña gracias a esta tabla.
- Tabla *categorías*: en esta tabla se almacenan todas las categorías de las rutas, por lo que solamente contiene el nombre de las mismas.
- Tabla *rutas*: contiene una columna en la que se guarda el nombre de la ruta, otra en la que se dice la localidad a la que pertenece, y hay un identificador, el cual es una clave foránea al id de la tabla *categorías*. Esto se hace para que el usuario pueda filtrar las rutas según la categoría seleccionada.
- Tabla *punto_interes*: esta es una tabla de gran importancia ya que guarda todos los puntos de interés de las rutas. Contiene una columna en la que se guarda el nombre del mismo, un identificador como clave foránea al id de la ruta seleccionada. Esta clave se declara como foránea para poder acceder a los puntos

de interés de una ruta en concreto. Por último, también almacena la descripción para la síntesis de voz.

De esta manera, la base de datos queda organizada tal y como se muestra en la Figura 3.4, en la que se puede ver la forma en la que la tabla *categorías*, *rutas* y *punto_interes* están comunicadas por claves foráneas.

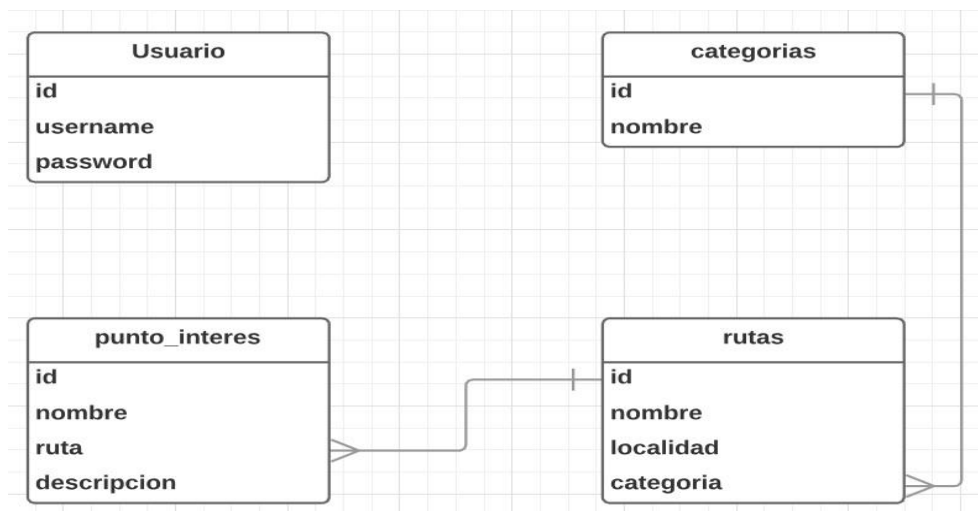


Figura 3.4. Esquema de la organización de la base de datos utilizada

3.2.4. PHP

PHP o Hypertext Preprocessor es un lenguaje de código abierto muy popular y especialmente adecuado para el desarrollo web y que puede ser incrustado en HTML [33]. Existen principalmente tres campos donde se usan scripts de PHP:

- Scripts en el lado del servidor. Para este proyecto se ha utilizado este lenguaje para hacer una conexión a la base de datos y, gracias a la misma, poder realizar las consultas SQL a las tablas necesarias. Son necesarias tres cosas para que esto funcione. El analizador de PHP (módulo CGI o servidor), un servidor web y un navegador web. Es necesario ejecutar el servidor con una instalación de PHP conectada. Se puede acceder al resultado del programa de PHP con un navegador, viendo la página de PHP a través del servidor. Todo esto se puede ejecutar en su máquina si está experimentado con la programación de PHP.
- Scripts desde la línea de comandos. Se puede crear un script de PHP y ejecutarlo sin necesidad de un servidor o navegador. Solamente es necesario el analizador

de PHP para utilizarlo de esta manera. Estos scripts también pueden usarse para tareas simples de procesamiento de texto.

- Escribir aplicaciones de escritorio. Probablemente PHP no sea el lenguaje más apropiado para crear aplicaciones de escritorio con una interfaz gráfica de usuario, pero si se conoce bien PHP, y se quisiera utilizar algunas características avanzadas de PHP en aplicaciones del lado del cliente, se puede utilizar PHP-GTK para escribir dichos programas.

Pero PHP no está limitado a generar HTML. Entre las capacidades de PHP se incluyen la creación de imágenes, ficheros PDF e incluso películas Flash.

Para esta aplicación, se ha utilizado este lenguaje para desarrollar scripts en lado del servidor. De esta manera, es posible conectarse a la base de datos remota desde cualquier dispositivo, y ejecutar las consultas necesarias. Se han creado diferentes ficheros para conseguir esto, aquí se listan todos ellos:

- **registro.php**: realiza el registro de un nuevo usuario. Cuando este introduce el nombre de usuario y su contraseña, se ejecuta este archivo que realiza una consulta de tipo INSERT para ingresar esa información en la tabla *usuarios*.
- **login.php**: realiza la validación de un usuario con su contraseña para darle acceso a la aplicación.
- **get_all_catg.php**: realiza una consulta a la tabla *categorías*, para que el usuario pueda seleccionar la categoría de la ruta que le interese en ese momento.
- **get_routes.php**: recibe como parámetro la categoría que el usuario ha seleccionado anteriormente, y realiza la consulta correspondiente a la tabla *rutas* para poder listar las que pertenecen a dicha categoría.
- **get_pdis.php**: recibe como parámetro la ruta que el usuario ha seleccionado. Con el nombre de esa ruta, este script realiza la consulta necesaria a la tabla *punto_interes* para listar los puntos de interés que corresponden a dicha ruta.
- **get_description.php**: este script realiza una consulta a la tabla *punto_interes* para obtener la descripción de un determinado punto de interés, el cual se recibe como parámetro.

Como se ha comentado anteriormente, estos archivos son llamados desde la aplicación utilizando el nombre de dominio del servidor x10hosting y realizando una

solicitud HTTP de la siguiente manera: http://proyectourism.x10.mx/cgi-bin/nombre_script.php.

3.2.5. HTTP

El Protocolo de Transferencia de Hipertexto (Hypertext Transfer Protocol o HTTP) es un protocolo de comunicación que permite transferencias de información en la *World Wide Web*. Ha habido multitud de versiones desde que se creó este protocolo, la última de ellas es HTTP/2, que incluye la compresión de cabeceras para una reducción del tamaño de los paquetes, añade el uso de una única conexión, y el servicio *server push*.

HTTP contiene gran cantidad de métodos de petición, que indican la acción que se desea hacer sobre el recurso al que se quiere acceder. Los más importantes se indican a continuación:

- **GET**: si lo que se quiere es la representación del recurso solicitado.
- **HEAD**: este método es muy similar a GET, pero en vez de devolver el recurso completo, devuelve solamente las líneas de cabecera, sin el cuerpo.
- **POST**: este método sirve para modificar datos en el recurso especializado, estos datos son enviados al recurso, que será en donde serán procesados.

Estos son los tres principales, sin embargo, hay muchos más. Por ejemplo, DELETE, para borrar el recurso especificado, PUT, para realizar una actualización, CONNECT, para saber si se tiene acceso al host, entre otros.

Toda solicitud que se realice a un recurso de un servidor, conlleva una respuesta, la cual contiene un código de tres dígitos para que el solicitante sepa lo que ha ocurrido en la petición. Estos son los códigos que se pueden encontrar en HTTP:

- Códigos **1xx**: Indica que la petición aún no ha sido procesada. Se trata de una respuesta informativa.
- Códigos **2xx**: Petición procesada correctamente.
- Códigos **3xx**: Es una respuesta de redirección. Indica que el navegador debe realizar alguna acción adicional para que la petición se complete (como por ejemplo redirigirse a otra página).
- Códigos **4xx**: Indica que ha habido un error por parte del cliente.

- Códigos **5xx**: Indica que ha habido un error por parte del servidor.

Dentro de cada tipo de código de respuesta, hay otros diversos para indicar el problema correcto que ha causado el error.

Para el desarrollo de esta aplicación, HTTP ha sido de gran utilidad para generar solicitudes al servidor x10hosting, en concreto, a los scripts PHP comentados en el apartado anterior, es decir, a la dirección http://proyectourism.x10.mx/cgi-bin/nombre_script.php. Estas solicitudes se han realizado utilizando el método GET, para poder ejecutar las consultas a la base de datos en el lado del servidor. Se han realizando utilizando el método en Java llamado *makeHttpRequest*, que recibe como parámetros el método de petición a realizar, la URL del recurso especificado, y, si procede, los parámetros que necesite ese recurso para poder ser procesado.

3.2.6. JSON

JSON es un formato liviano de intercambio de datos, es decir, es un formato de texto que es completamente independiente al lenguaje, por lo que es posible enviar datos de un lenguaje a otro completamente distinto. JSON se basa en dos estructuras, las cuales son universales, es decir, todos los lenguajes de programación se respaldan en una u en otra. Una de estas estructuras es una colección de pares de nombre/valor que se puede realizar mediante un objeto, registro, estructura, diccionario, tabla hash, lista de valores o matriz asociativa. La otra mediante una lista ordenada de valores, que, en la mayoría de los lenguajes, se realiza como una matriz, vector, lista o secuencia [34].

En JSON, dichas estructuras se organizan de la siguiente manera:

- **Objeto**: conjunto desordenado de pares nombre / valor. Esta representado con la forma “{” *objeto* “}”. A cada nombre de objeto le sigue “:” y los pares nombre / valor vienen separadas con comas.
- **Matriz**: colección ordenada de valores. Está representada de la forma “[“ *matriz* “]”. Los valores están separados por comas.
- **Valor**: un valor está representado entra comillas dobles, puede ser una cadena, un número, verdadero, falso, nulo, un objeto o una matriz.

- **Cadena:** secuencia de cero o más caracteres Unicode, representados entre comillas dobles y usando escapes de barra invertida.
- **Número:** muy parecido a un número en C o Java, pero los formatos octales y hexadecimales no se usan.

Los datos provenientes de la base de datos son enviados por parte del servidor a la aplicación Java en formato JSON, los datos concretos que necesita la aplicación Java son extraídos y representados en la pantalla del dispositivo. Este formato se crea mediante la llamada al método PHP `json_encode`, que devuelve un String en formato JSON. Para poder entender de mejor manera este formato de texto, en la Figura 3.5 se muestra un ejemplo, del que se extraen todas las categorías de las rutas de la base de datos.

```
{
  "categorias":[
    {"0":"1",
     "id":"1",
     "1":"Artisticas",
     "nombre":"Artisticas"},
    {"0":"2",
     "id":"2",
     "1":"Gastronomicas",
     "nombre":"Gastronomicas"},
    {"0":"3",
     "id":"3",
     "1":"Monumentos",
     "nombre":"Monumentos"},
    {"0":"4",
     "id":"4",
     "1":"Costeras",
     "nombre":"Costeras"}
  ],
  "success":1,
  "message":"Categorías encontradas"
}
```

Figura 3.5. Ejemplo en formato JSON de una respuesta a la aplicación Android al solicitar las categorías de las rutas

Se puede ver que esta respuesta la información está dentro de un objeto genérico, dentro del cual hay una matriz que corresponde con la información relevante de las categorías. Y que dentro de esa matriz hay objetos de cada una de las categorías encontradas en la base de datos. Los objetos con nombre *success* y *message* no son más que informativos para que la aplicación sepa que la respuesta se ha generado con éxito.

A lo largo de la ejecución del programa, se generan más mensajes a parte en formato JSON a parte del representado. Cuando un usuario selecciona una categoría, se reciben las rutas en base a la dicha categoría en formato JSON. Análogamente, se recibe el listado de los puntos de interés, una vez seleccionada una ruta.

3.3. Módulos del sistema

Toda aplicación desarrollada para Android está dividida en diferentes módulos, en los que en cada uno se cumple una funcionalidad determinada. Básicamente se pueden diferenciar dos tipos de módulos. Uno de ellos son los que se refieren a la manipulación de los objetos a representar en la cámara, es decir, los programados con HTML y JavaScript. El otro el que tiene que ver con el resto de la aplicación, es decir, la gestión de los datos, la inicialización de Wikitude, o la síntesis de voz que se implementan gracias a Java.

3.3.1. Módulo registro e identificación del usuario

Este módulo permite a un nuevo usuario registrarse en la aplicación con un nombre de usuario y una contraseña y, si el mismo ya está registrado, identificarse en la misma con los datos introducidos anteriormente. Incluye las clases identificadas bajo el nombre Login y Registro, ambas implementan la interfaz View.OnClickListener, ya que ambas implementan el correspondiente método onClick() en el que se define la acción que se va a realizar con la pulsación de un botón.

Ambas, clases, cuando se produce la pulsación de un botón, se ejecuta una subclase que hereda la clase AsyncTask, que permite ejecutar tareas en segundo plano. Esto resulta útil para no sobrecargar con tareas demasiado costosas al hilo principal, consiguiendo así una mayor fluidez en el funcionamiento de la aplicación. Para usar esta clase ha sido necesario sobrecribir una clase de métodos que se describen a continuación:

- **onPreExecute():** este método se ejecuta antes del código principal de la tarea. En este caso se implementa el código necesario para que mostrar al usuario un mensaje indicando la acción que se está realizando. Un ejemplo del resultado de este método se muestra en la Figura 3.6.

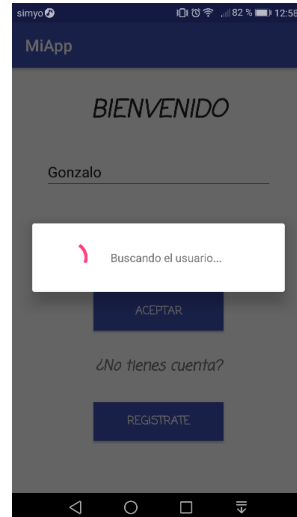


Figura 3.6. Ejecución del método onPreExecute() durante el proceso de login

- **doInBackground():** ejecuta el código principal de la tarea, es decir, es aquí donde se envía una solicitud HTML para ejecutar una consulta sobre la base de datos. Para el caso de la clase Login comprobar la autenticación y, para el caso de la clase Registro, introducir en la base de datos el nombre del nuevo usuario y la contraseña del mismo.
- **onPostExecute():** se ejecuta una vez finalizada la tarea principal. Para esta aplicación. Hace que se le muestre al usuario un mensaje indicando si la tarea ha terminado con éxito o no.

Arquitectura:

Dicho módulo se ha implementado utilizando la arquitectura cliente-servidor representada en la Figura 3.7. Tal y como se observa, el cliente y el servidor se comunican gracias a HTML y JSON. Cuando el usuario realiza una acción sobre la aplicación, el cliente envía una solicitud HTML al servidor. Posteriormente se ejecuta el archivo PHP correspondiente, con la que se produce una conexión a la base de datos MySQL y se realiza la consulta. Una vez se ha ejecutado esa consulta, el resultado de la misma se envía al cliente en formato JSON, que se encarga de interpretarla.

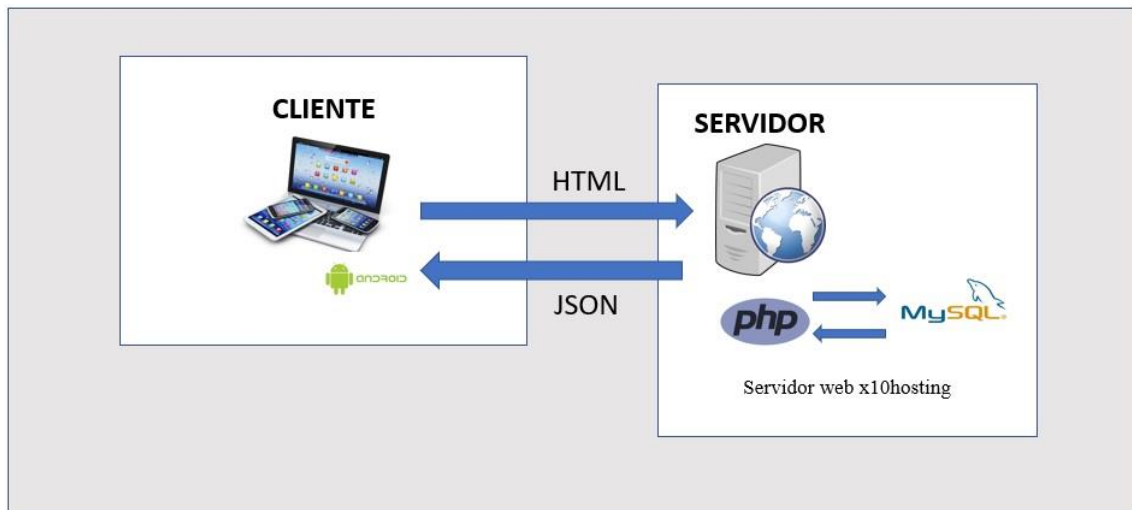


Figura 3.7. Arquitectura del funcionamiento del módulo de registro e identificación de usuario

3.3.2. Módulo búsqueda de rutas

Este módulo permite al usuario encontrar la ruta que más le interesa hacer en ese momento gracias a un menú por el cual selecciona la categoría de rutas que desea consultar. Por lo tanto, este módulo está compuesto por las clases Java Categorías y Rutas. De igual manera que el módulo Registro e identificación del usuario, cuando el usuario realiza una acción sobre la aplicación, una subclase que hereda de AsyncTask es llamada. Dentro de esta subclase se encuentran los métodos *onPreExecute()* que realiza la misma acción que en el módulo anterior, *doInBackground()*, donde se envían las consultas necesarias y se recibe la respuesta de las mismas, y *onPostExecute()*, idéntico al del módulo anterior.

Una vez que se han sido ejecutados estos dos módulos, se pasa a la ejecución del motor de RA, cuyo módulo se explica en detalle en el siguiente apartado de este capítulo.

Arquitectura:

Este módulo presenta un esquema de arquitectura que también viene dado por la Figura 3.7, el cual se basa en un modelo cliente-servidor comunicados gracias al uso de HTTP y JSON.

3.3.3. Módulo *ARactivity*. Motor de RA

Este es un módulo que realiza operaciones muy importantes para la aplicación. A continuación, se dictan todas ellas:

- Tiene la función de establecer la configuración de Wikitude, inicializarla y poner operativa la cámara de Realidad Aumentada.
- Realiza la configuración necesaria para el funcionamiento del sintetizador de voz TTS.
- Posee un sistema de comunicación entre Java Script y Java. Necesario para el uso de la síntesis de voz.
- Realiza la conexión pertinente con el servidor web para obtener la descripción de un determinado punto de interés.

Arquitectura

Este módulo es una case hija que hereda de la clase Activity, presente en todas las demás clases, ya que es la encargada de crear una ventana en la que se puede colocar la interfaz de usuario. Por lo tanto, como en todas las aplicaciones Android, al heredar esta clase se han implementado una serie de métodos que son necesarios en diferentes momentos de la ejecución. Estos métodos se pasan a comentar en detalle:

- **onCreate():** en este método se establece la configuración e inicialización de la cámara de Realidad Aumentada, concretamente del rastreador de imágenes de RA y del sistema de síntesis de voz.
- **onInit():** es un método por el que se comprueba si el sintetizador de voz TTS puede ser utilizado. Si no es posible, se envía al usuario un mensaje informativo.
- **onPostCreate():** se carga la cámara de Wikitude según la configuración establecida en el método *onCreate()*. En este método también se carga la interfaz web que se va a poder visualizar durante el rastreo (archivo *index.html*).
- **onResume():** cuando se ejecuta este método, empieza verdaderamente la experiencia de Realidad Aumentada. Se arranca la cámara de Wikitude y, además, queda a la espera de recibir eventos procedentes de Java Script, como la pulsación

del botón de activación de voz, para la obtención de la descripción del punto de interés rastreado.

Para conseguir esta comunicación entre el entorno WEB, concretamente de JavaScript, y entre el entorno Android, es decir, de Java, han sido necesarias las siguientes implementaciones:

- Método manejador de eventos: este es un método implementado en entorno WEB, por el que se detecta el evento creado cuando el usuario presiona dicho botón. En este método se guarda el nombre del punto de interés actual, y envía en formato JSON al entorno Android gracias a la llamada al método `sendJSONObject`.
- Método `onJSONObjectReceived(JSONObject)`: se recibe en formato JSON el nombre del punto de interés enviado por el entorno WEB. Con ello, se realiza una conexión a la base de datos para consultar a la base de datos la descripción del punto de interés sobre el que se quiere activar la síntesis de voz, siguiendo la estructura explicada en los módulos de registro e identificación del usuario y búsqueda de rutas. Para finalizar, se activa el TTS con la descripción obtenida.
- **onLowMemory()**: se trata de un estado que se ejecuta para informar al usuario de que se está produciendo una falta de memoria, por lo tanto, se trata de un método asíncrono, es decir, solo se ejecuta cuando ese evento ocurra.
- **onDestroy()**: se realiza la finalización de la actividad, que conlleva a una liberación de los recursos utilizados durante la ejecución.

3.3.4. Módulo *HTML index.html*

Este módulo se encarga de representar el cuerpo de la actividad de realidad aumentada. Se trata de un fichero HTML en el que se definen todos los elementos que va a tener la estructura. A este fichero se le define también un fichero CSS para establecer un diseño visual por defecto, además de un archivo JavaScript en el que se programan todas las funcionalidades de realidad aumentada, es decir, reconocimiento de imágenes y captura de eventos para enviarlos al Android de Java.

En la Figura 3.8 se representa la ejecución de este módulo para la aplicación tratada. Se trata de un ejemplo muy sencillo ya que solamente tiene la indicación de lo que el usuario tiene que hacer durante la experiencia. En este caso, apuntar a un punto de interés para que sea reconocido.



Figura 3.8. Ejecución del entorno web dentro de Android

3.4. Encriptado de contraseñas

Cualquier aplicación que trate información personal de los usuarios, debe tratar temas de seguridad para que personas no deseadas consulten la información de los mismos. Para esta aplicación, se ha tenido en cuenta que agregar una contraseña sin encriptar a la base de datos es un problema de seguridad importante, ya que puede dar lugar a ataques muy peligrosos que ponen en peligro dicha información.

Por ello, cuando un usuario realiza el proceso de registro, la contraseña es introducida a la base de datos previamente habiendo pasado un algoritmo de encriptación de manera que, ni el propio administrador de la aplicación y de la base de datos pueda ver en claro la contraseña de los usuarios. Para poder hacer esto existen en PHP las llamadas funciones hash.

Hay multitud de algoritmos basados en estas funciones para encriptar información, el que se ha usado en esta aplicación se conoce bajo el nombre Blowfish. Se trata de un algoritmo de cifrado de clave simétrica, es decir, se usa la misma clave para cifrar y para descifrar, y opera en grupos de bits de longitud fija, llamados bloques, aplicándoles una

transformación invariante. Este es posible ejecutarlo en PHP con la llamada a la función *password_hash*, a la que se le pasa la contraseña sin cifrar y devuelve la misma encriptada con el siguiente formato:

- **Algoritmo:** En primer lugar, la contraseña encriptada tiene una serie de caracteres que son específicos del algoritmo utilizado, para el caso del utilizado estos caracteres son “\$2y\$”.
- **Opciones de algoritmo:** son 3 caracteres que hacen referencia al coste computacional de su ejecución. Estos caracteres pueden ser modificados con un argumento de la función *password_hash*. Si a la función se le pasa un mayor coste, la contraseña encriptada será mucho más complicada de descifrar, sin embargo, el tiempo de ejecución de la función será mayor.
- **Sal:** se trata de una secuencia de caracteres que es lo que le hace verdaderamente única a la contraseña. Son generados aleatoriamente, de manera que, aunque dos usuarios se registren con la misma contraseña, esta secuencia será diferente.
- **Contraseña encriptada:** es la contraseña que ha introducido el usuario, habiendo pasado el algoritmo de encriptación.

En la Figura 3.9 se muestra la forma en la que queda la tabla de la base de datos encargada de almacenar la contraseña de los usuarios, con las mismas encriptadas.

							id	username	password
		Editar		Copiar		Borrar	15	Gonzalo	\$2y\$10\$k7dwY0PJUIh/ICpfAamvq.C6VIJTxMievCP2aUOHfL.....
		Editar		Copiar		Borrar	16	ejemplo2	\$2y\$10\$kX4tKRv7GSYwOkivP623aecXVdkwfHjbUB64Z8JLRNt...
		Editar		Copiar		Borrar	17	ejemplo3	\$2y\$10\$9KVM5255yMS318R8ixAAwOnQa.ZAdNtYETHC96qNQhg...
		Editar		Copiar		Borrar	18	ejemplo4	\$2y\$10\$VDW3gSAarqODk.X.mA23u.r2a.4226a3YVVn.RJHPB...

Figura 3.9. Tabla usuarios con ejemplos de contraseñas encriptadas

Por otra parte, cuando un usuario ya registrado quiere acceder a la aplicación, es necesario tener en cuenta que la contraseña se encuentra encriptada en la base de datos. Por ello, en el script PHP se ha utilizado la función *password_verify*, que recibe el hash proporcionado por la base de datos y la contraseña introducida por el usuario. Devuelve *true* si ambas coinciden y *false* en caso contrario.

3.5. Ciclo de ejecución de la aplicación

En este apartado se muestran las capturas de pantalla de la aplicación móvil. Todas ellas van a ir acompañadas de una explicación para entender de mejor manera el funcionamiento de la misma. Toda la ejecución, tal y como se va a mostrar a continuación, se basa en un conjunto de menús en los que el usuario realiza la búsqueda de la ruta que desea hacer en ese momento. Una vez seleccionada, se muestran los puntos de interés que la forman, y un botón para activar la cámara de Realidad Aumentada.

En cada pantalla, cabe destacar que el usuario siempre dispone de botones tanto para cerrar su sesión, como para retroceder a anteriores menús, es decir, para cambiar de ruta o de categoría. Con esto se consigue una aplicación más intuitiva y con mayor fluidez para el usuario.

En primer lugar, en la Figura 3.10 se encuentran las pantallas correspondientes para realizar el registro de un nuevo usuario. Desde la pantalla principal de la aplicación, se ha de pulsar en el botón “*Regístrate*”, que dirige a la segunda pantalla. En ésta, se ha de introducir el nombre que desea el nuevo usuario y, a continuación, su contraseña y una confirmación de la misma, en la que tiene que se tiene que introducir la misma, este es un motivo de seguridad para evitar el registro con contraseñas no deseadas. Una vez se ha conseguido registrar, se muestra la pantalla para seleccionar una categoría y, a su vez, un mensaje con el texto “*El usuario se ha agregado correctamente*”.



Figura 3.10. Capturas de pantalla de la aplicación: registro de un nuevo usuario

Por otra parte, en la pantalla principal se encuentran los campos necesarios para que un usuario ya registrado acceda a la aplicación. Se ha de introducir el nombre y la contraseña definidos en el proceso de registro y pulsar en el botón “Aceptar”. Una vez hecho esto, al igual que anteriormente, se le dirige a la pantalla para seleccionar una categoría, pero esta vez aparece un mensaje con el texto “Login correcto”.

Si un usuario introduce su nombre o su contraseña incorrectamente, la aplicación le muestra de nuevo la pantalla principal con el mensaje “Login INCORRECTO”. Todo esto se puede comprobar en la Figura 3.11

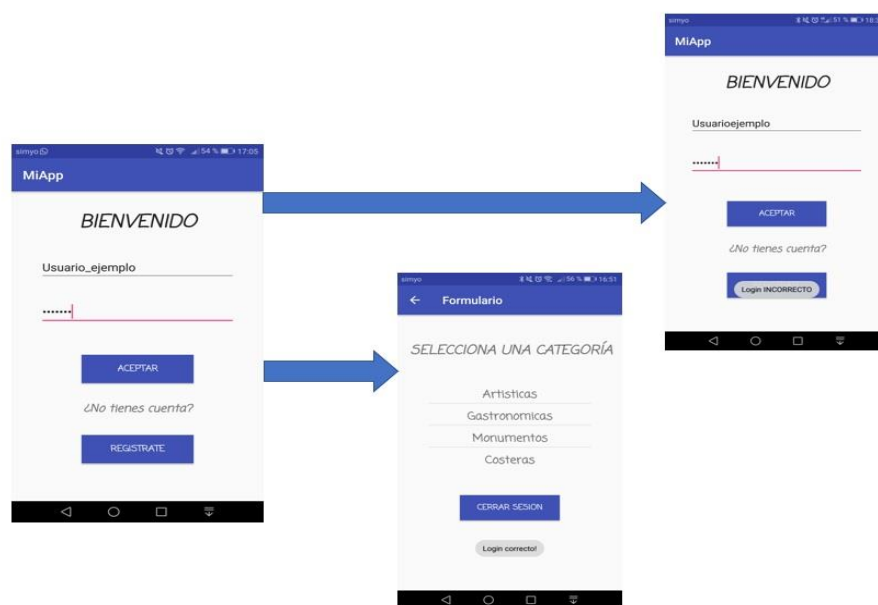


Figura 3.11. Capturas de pantalla de la aplicación: proceso de login de un usuario

Una vez que el usuario dispone de cuenta y ha accedido a la aplicación, tal y como se ha visto anteriormente, se le muestra la pantalla de selección de categoría. Se aprecia en la Figura 3.12 que ha habido interés por las rutas que relacionadas con monumentos. A la hora de mostrar el listado de las mismas, se ha tenido en cuenta el nombre y la localidad en la que se puede realizar. Una vez que el usuario ha elegido finalmente una ruta, puede ver los puntos de interés que componen la misma, así como un botón para activar la cámara y probar la experiencia de realidad aumentada. Asimismo, en esta pantalla se puede realizar scroll para poder observar los botones necesarios en caso de que el usuario quiera cambiar de ruta, de categoría, o cerrar su sesión.

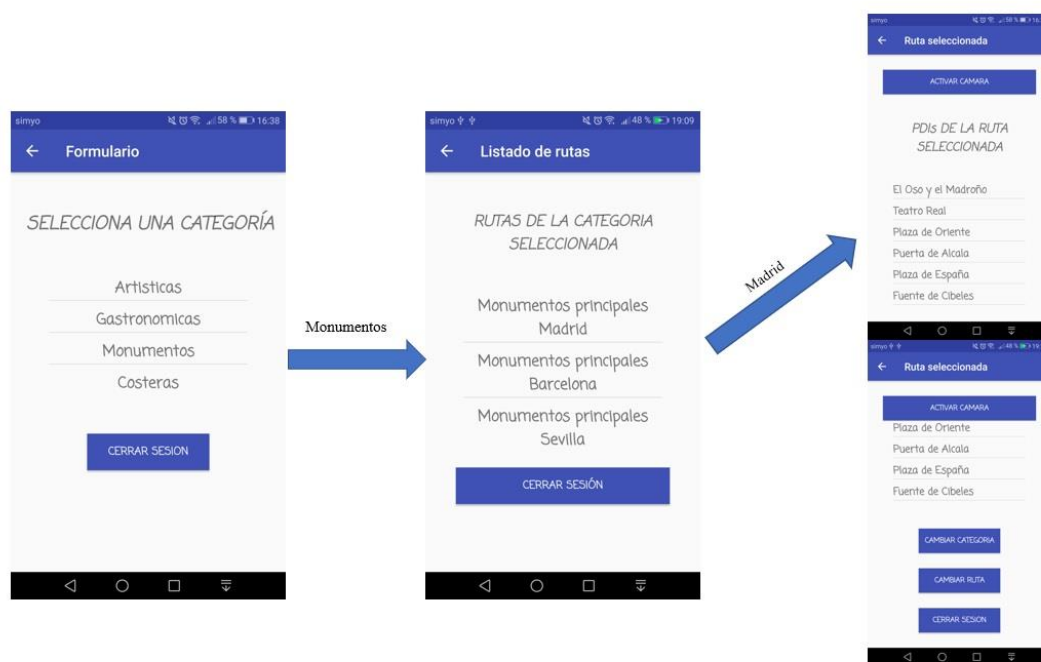


Figura 3.12. Capturas de pantalla de la aplicación: búsqueda y selección de una ruta

Por último, cuando el usuario está haciendo la ruta, tiene la posibilidad de, en cualquier momento, activar la cámara de realidad aumentada. En la Figura 3.13 se muestran la captura de pantalla correspondiente a esta funcionalidad de la aplicación. Se puede apreciar que, cuando el usuario apunta a un PDI con la cámara del dispositivo, se superponen en la pantalla una serie de elementos. Estos son un botón con el que puede redirigirse a una página web para saber más información, otro con el que puede activar la síntesis de voz para escuchar una descripción del mismo, y, por último, una imagen relacionada con el punto de interés en cuestión. Para el caso que ocupa, se puede ver que, apuntando a la estatua de El Oso y el Madroño de Madrid, se superpone una imagen del escudo de la comunidad autónoma, para aclarar que este PDI aparece representado en el mismo.

Durante el proceso de desarrollo de la aplicación, ha sido necesario realizar continuas pruebas para comprobar el correcto funcionamiento de la realidad aumentada. Por ello, estas pruebas se han llevado a cabo capturando una imagen de los puntos de interés a través de la pantalla del ordenador. Sin embargo, esta aplicación está pensada para capturar los mismos directamente del lugar en el que están ubicados. Por

consiguiente, en la Figura 3.13 se muestran las capturas de pantalla de la realización de una prueba de la aplicación.



Figura 3.13. Capturas de pantalla de la aplicación: experiencia de Realidad aumentada

4. EVALUACIÓN

En el siguiente capítulo se ha procedido a realizar un proceso de evaluación de la aplicación, por el cual se ha podido extraer sus principales ventajas y sus puntos débiles. Esta evaluación se ha basado en realizar un cuestionario que recoge la impresión y las opiniones de distintos usuarios al probar la aplicación desarrollada. Una vez obtenida esa información, se ha podido hacer un análisis de esos datos y se han obtenido conclusiones.

4.1. Metodología de evaluación

Tal y como se acaba de mencionar, para realizar esta evaluación se ha producido a realizar una encuesta con preguntas sobre la experiencia de la evaluación a personas de diferente edad y sexo. Mediante la primera parte de la encuesta se desea saber el tiempo de uso que los encuestados dan a los dispositivos móviles y sus conocimientos de realidad aumentada. Las siguientes preguntas se basan en la evaluación en sí de la aplicación. Este cuestionario se puede observar en la Tabla 4.1, en la que cada pregunta ha sido valorada de 1 a 5, siendo 1 lo más negativo y 5 lo más positivo.

Tabla 4.1. PREGUNTAS DE LA ENCUESTA DE EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN

N.º	Pregunta	Valores
1	¿Cuánto tiempo dedica al uso de Smartphones?	1: Nada; 5: Mucho
2	¿Con qué frecuencia utiliza aplicaciones Android?	1: Nunca; 5: Continuamente
3	¿Suele estar interesado en realizar rutas turísticas?	1: Nunca; 5: Continuamente
4	¿Tiene conocimientos sobre RA?	1: Ninguno; 5: Muy elevado
5	¿Ha usado aplicación con RA?	1: Nunca; 5: Muchas
6	¿Qué le ha parecido la idea de la aplicación?	1: Muy mala; 5: Muy buena
7	¿Cómo de sencilla e intuitiva le ha parecido la interfaz?	1: Nada; 5: Mucho
8	¿La ejecución de la aplicación ha transcurrido de forma fluida y sin errores aparentes?	1: Nada; 5: Mucho
9	¿Le ha resultado útil las páginas web de los puntos de interés?	1: Nada; 5: Mucho
10	¿Le ha parecido útil la síntesis de voz?	1: Nada; 5: Mucho
11	¿Cómo la ha resultado la experiencia global de la aplicación?	1: Muy mala; 5: Muy buena

4.2. Resultados de la evaluación

Una vez que recogidas las puntuaciones de algunos usuarios al probar la aplicación, se ha podido realizar una media de todas ellas, con la que se puede ver las, según las opiniones, los puntos más y menos interesantes de este asistente turístico. Esto que se acaba de mencionar se puede consultar en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. RESULTADOS DE LA ENCUESTA DE EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN

		Preguntas										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Usuarios	1	4	4	3	2	3	3	5	3	3	5	5
	2	4	5	3	3	3	4	4	3	4	5	4
	3	5	5	2	1	2	3	5	4	3	4	4
	4	3	4	3	2	3	4	5	4	3	5	4
	5	5	5	4	3	4	4	5	4	2	4	5
	6	4	3	3	2	3	5	5	3	4	5	3
	7	4	4	5	2	2	3	4	2	3	5	4
	8	5	3	3	3	3	4	5	3	3	4	4
	9	4	4	4	1	3	3	5	3	4	4	4
	10	5	4	3	2	4	3	5	2	4	5	5
Promedio		4.3	4.1	3.3	2.1	3	3.6	4.8	3.1	3.3	4.6	4.2

De esta encuesta se ha podido extraer una serie de conclusiones. La primera de ellas es que, al haber ido dirigida a población joven, se puede observar que el uso de dispositivos móviles es muy elevado. Sin embargo, no tienen un conocimiento muy elevado de la Realidad Aumentada. A pesar de ello, la idea del tema de la aplicación no ha parecido demasiado buena, debido a que ya hay aplicaciones de asistentes turísticos en el mercado actual.

Además, la idea de las páginas web no ha resultado, por lo general, del todo adecuada, debido a que ello les obliga a apartar la mirada del lugar que están visitando, para prestar mayor atención al móvil. Por otra parte, la funcionalidad de la síntesis de voz

ha parecido adecuada, ya que es una forma muy interactiva de conocer en profundidad el punto de interés.

En conclusión, se trata de una aplicación con un correcto funcionamiento y con aspectos positivos, y otros a mejorar. Por ello, se han propuesto una serie de mejoras y nuevas funcionalidades.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este capítulo se van comentar las conclusiones acerca de los resultados obtenidos de este proyecto. Posteriormente se proponen una serie de modificaciones y nuevas funcionalidades que podrían hacer de esta aplicación aún más interesante.

5.1. Conclusiones

El marco de trabajo en el que se ha centrado el presente trabajo fin de carrera ha sido, principalmente la realidad aumentada, aunque también ha sido muy importante profundizar en la gestión de bases de datos, tanto para la creación como para la consulta remota de las mismas. Se ha tenido como objetivo dar un sentido práctico al uso de ambas tecnologías, con el que se consigue aportar una facilidad a los usuarios de obtener información de los lugares que visitan.

Para poder conseguir este propósito, ha sido necesario realizar un estudio previo tanto de los dispositivos móviles como de la realidad aumentada. Con esta investigación se ha conseguido entender la evolución de ambas a lo largo de la historia, y de cómo se han combinado ambas tecnologías, llegando a poder superponer elementos virtuales en la cámara del Smartphone en tiempo real. Por ello, se ha visto que la RA es cada vez más utilizada tanto con fines empresariales como personales por parte de los usuarios.

Siguiendo con este tema, se ha realizado una búsqueda de los principales proveedores con los que se puede desarrollar aplicaciones con realidad aumentada. Para ello, ha sido necesario conocer la actualidad del mercado en lo que respecta a la RA, el cual ha ido creciendo continuamente, favoreciendo así la aparición de nuevas compañías centradas en esta tecnología. Una vez realizada esta investigación, y como se ha comentado en anteriores ocasiones, se ha decidido el uso de Wikitude como plataforma de desarrollo de RA. Por otra parte, la funcionalidad de síntesis de voz ha sido proporcionada mediante servicios gratuitos de Google. Estos servicios han sido elegidos con el objetivo de ser ajustadas lo máximo posible a la aplicación, facilitando así la implementación de la misma.

El uso de estas tecnologías, en especial la realidad aumentada, han sido totalmente novedosos. Por ello, para la programación de la misma, ha sido necesario la búsqueda de documentación de programación con JavaScript. En cuanto a la gestión de bases de datos remota se ha requerido aprender y profundizar en la creación de scripts con el lenguaje PHP.

En cuanto al proceso de acceso a información necesaria, cabe destacar que para el estudio previo de la realidad aumentada y dispositivos móviles se han accedido a páginas web y artículos de revistas científicas. Todo ello ha sido útil para obtener información lo más fiable y reciente posible. Por otra parte, para la programación con realidad aumentada, se ha comprobado que el volumen de documentación y ejemplos de implementación no es lo suficientemente amplio. Por ello, esta documentación se ha limitado a la proporcionada por la plataforma de desarrollo utilizada.

A modo de conclusión final, se considera que se han conseguido cumplir los objetivos planteados al principio de este documento. Estos comprenden la creación de una aplicación para dispositivos Android basándose en el uso de realidad aumentada, además de cubrir una necesidad real, haciendo que aquellos usuarios que visiten diversos lugares puedan tener información sobre los mismos de una manera fácil y, sobre todo, creativa. A pesar de estos objetivos cumplidos, se ha tenido en cuenta que esta aplicación puede tener nuevas funcionalidades y modificaciones a implementar en el futuro.

5.2. Trabajo futuro

Una vez finalizada la aplicación y realizado un proceso de evaluación de la misma, se ha podido ver con exactitud las ventajas y las desventajas que aporta. Por ello, en este apartado se procede a listar posibles nuevas funcionalidades a implementar en la aplicación para así, hacer que la misma se pueda adaptar en mejor medida al mercado real.

- Sistema de reconocimiento en la nube: actualmente, para el correcto funcionamiento de la experiencia de realidad aumentada, la aplicación dispone de un archivo con extensión *wtc*, que contiene los puntos de interés a reconocer. Por ello, cada vez que se desee incluir un nuevo punto de interés, sería necesario actualizar dicho archivo de la implementación. No obstante, se

plantea esta funcionalidad, que haría que se pueda actualizar el listado de los puntos de interés de la aplicación sin necesidad de acceder al código de la misma.

- Sistema de geolocalización: una funcionalidad muy interesante sería proporcionar un sistema de geolocalización. Con este sistema se conseguiría acceder a la posición del usuario y a la de los puntos de interés, para que así el usuario pueda saber qué puntos le rodean, sin necesidad de apuntar concretamente con la cámara al mismo.
- Añadir mapas de las rutas: tiene que ver directamente con la anterior. El sistema de geolocalización permitiría añadir mapas de las rutas según el usuario la está realizando. De esta manera, se podría consultar este mapa para saber en qué punto de la ruta se está, y la posición exacta de los puntos de interés que la forma.
- Añadir idiomas: actualmente el sistema de síntesis de voz solo se activa en castellano. Una nueva funcionalidad se basaría en que el usuario pueda seleccionar el idioma en el que desee que se active dicho sistema.
- Aumentar la portabilidad a iOS: esta aplicación, como se ha dicho en otras ocasiones, solo es compatible con el sistema operativo Android, por lo que sería conveniente aumentar su portabilidad haciéndola disponible también para iOS.
- Rastreo de objetos 3D: con el lanzamiento de la nueva versión de Wikitude, la SDK 7, se permite rastrear objetos con formas arbitrarias, es decir, en lugar de limitarse al reconocimiento de imágenes y superficies planas, es posible trabajar con estructuras y objetos tridimensionales, para el caso de esta aplicación, podría ser con esculturas o edificios.

ANEXO A – REQUISITOS Y MANUAL DE INSTALACIÓN

Para poder realizar la instalación de la aplicación en un dispositivo, son necesarios los siguientes requisitos mínimos:

- Archivo con extensión *.apk* guardado en el dispositivo móvil. Este archivo resulta ser el código de la aplicación comprimido, por lo que dicho código no será accesible con este archivo.
- Smartphone con sistema operativo Android con versión 4.4 o superior.
- Ordenador portátil con el que poder enviar el archivo al dispositivo móvil.
- Cable USB para realizar la conexión entre el portátil y el Smartphone.

Cumpliendo estos requisitos mínimos, y teniendo en cuenta que la aplicación no está subida en Google Play Store, la manera de realizar la instalación de la misma varía respecto a la usada al instalar aplicaciones con Google Play Store.

En primer lugar, teniendo el Smartphone y el ordenador conectados mediante el cable USB, es necesario enviar el archivo con extensión *apk* al dispositivo móvil, a una carpeta elegida por el usuario. Posteriormente, tan solo hay que dirigirse a dicha ruta y seleccionar dicho archivo, produciéndose la instalación de la aplicación de manera automática. Una vez haya finalizado este proceso, la aplicación queda instalada y lista para su ejecución.

ANEXO B – RESUMEN DE CONTENIDOS EN INGLÉS

B.1. Abstract

The interest for the use of the mobile phone devices on the part of the users is increasing every time more. For that, nowadays there are a lot of technologies that can be used by these devices, one of them is the Augmented Reality. That is why the main goal of the project is the development of an application to Smartphones with Android operative system.

Thanks to this application, a user, previously registered with her name and password, can look for a interested route in a certain moment. When the route is selected, with the camera its posible to detect the point of interest that form a part of the route. When the point of interest is detected, the application can access to a website or activate the synthesis of voice to listen a description with additional information about the point of interest.

To get these functionalities, this project uses several actual software technologies. Also, the application uses a web server called x10hosting, a web sistem storage, to do the remote database. On the other hand, Wikitude has been used to get the Augmented Reality. This is a library of payment, but its posible to use a free key to be able to use it, but with several limitations in the number of targets and in the size of the same ones. Finally, the tool TextToSpeech has allowed to get the synthesis of voice.

As for the languages of proframming used, mainly Java has been used to implement the basics functionalities. However, the languages JavaScript y HTML have been used to get the Augmented Reality and PHP to look up the remote data base.

Key Words: Mobile Devices; Augmented Reality; Android; Data base; Synthesis of voice.

B.2. State of art at mobile devices

During these last years it has been possible to notice the remarkable expansion of the world of mobile devices. So much so that, nowadays, all users have a smartphone. This is so, among other reasons, the advance of technology has allowed to minimize the components, at the same time, increase their autonomy and performance, and without forgetting their incredible portability.

Because of this advantages, people is very interested in this technologies. For that, the first app came to the market 10 years ago and since then they have been used more and more. So much so that, today, more than 80% of users spent his time using mobile devices.

Currently, is used in more way mobile phone to surf the internet than desktop or laptop. This fact is also due a mobile OS is designed differently from one table, i.e., in the case of the mobile has been created to provide greater wireless connectivity possible. This does not mean, however, that computers will be replaced because his operating system is much more powerful and versatile. Capacity of a desktop is much greater than that of a mobile device. For this reason, it currently with a cloud storage system, to gain access to data from anywhere via the internet.

The most important thing to a mobile device is his Operative System. Every smartphone must have a Operative System to organize the executions and manage the hardware. There are two main Operative Systems in the mobile phone market, these are Android and iOS. These are the ones that occupy almost the entire market share. However, in history there have been other operating systems that were important, including Windows Phone.

All of them have been a lot of versions in the history, everyone contributed an improvement to his corresponding system. However, the two most important ones (Android e iOS) finally did tha Windows Phone lose a lot of thunder in these days.

The architecture of Android is based in layers. Every layer has a concrete functionality to the operation of this system. Now there are a description of every one, starting from the top of the architecture:

- **Applications:** this level contains the apps installed by fault in the system and these installed by the user.
- **Application's Framework:** in this cap there are all the tools to develop any application, that means the API's.
- **Libraries:** the most part of the Android's libraries are developed in C or C++.
- **Android Runtime:** this one is on the same level than the previous one. It is made up of a multitude of Java claseses and Dalvik machine. This machine is mainly responsible for taking programs written in Java and execute them.
- **Kernel:** this layer make calls to hardware elements to they can be used. Thanks to the drivers, the memory manage and the system processes are controlled here.

With this architecture, the system Android situation has evolved much throughout history. To do so, has released different versions, which are entered new funionalidades which improved its performance and facilitated its use to users. The latest released version is Android 9.0 feet, which at present only available for some devices and introduces a large number of improvements, as the saving of energy and a new quick settings panel. Services currently known, as Google Play (introduced by version 4.1) were introduced in previous versions.

B.3. State of art at augmented reality

Augmented reality systems have evolved much throughout the history of computing. Also, each time has been more known to the point of being a useful technology.

The year 2008 was a turning point for the AR. It was the year in which went on sale Wikitude, namely on 20 October of that same year. This library was originally created with the purpose of providing a location based in reality augmented form; However, in 2012 it evolved to also result in recognition of images, follow-ups and geological technology.

This technology has had many advances in recent years, the most current are related to artificial intelligence, i.e., it is possible to interact with the environment using augmented reality or mixed reality thanks to the HoloLens Microsoft. With this

technology, may be that robots use a natural language so they can communicate more easily with humans. Also has come to combine augmented reality with the internet of things, which has been called it mixed reality.

Augmented reality is in many areas of everyday life of the users. Some of them are then discussed.

- **Medicine:** specifically in cardiology. Thanks to augmented reality, it is possible to carry out assisted surgeries.
- **Tourism:** Augmented reality can be very useful for tourists who require more information of places who visit without giving up the independence of organizing their own routes.
- **Education:** this relationship is search a method different from learning, more visual, i.e., based on the discovery. It helps to strengthen and establish knowledge through the visualization of 3D models.
- **Geolocation:** geolocation augmented reality allows us to access different content depending on the place in which we find ourselves.
- **Automotive:** in recent years the new extruded cars for sale already use augmented reality. The users can use this technology as a method of driving assistance, for example, know the path to be followed (via a multimedia screen on the dashboard) vehicle when reverse gear is taken when it comes to parking.

There are various components that are needed to develop applications with augmented reality. All of them then explain it:

- **ARCamera:** This component represents the scene of augmented reality, which displays the image captured by the camera of the device directly.
- **ARTrackers:** This component corresponds to the physical elements used to try augmented reality. This physical element can be a marker, an external object (such as an image) or a text.
- **ARAssets:** Finally, this component allows users to define virtual objects to be represented in a certain position of the screen, when a physical object is detected by the same. These elements can be text, images, or 3D models.

In terms of platforms that allow to program with augmented reality, it should be noted that the most important are Wikitude and Vuforia. However, that has been used for this project is the first, due to its ease of use and by having lots of documentation.

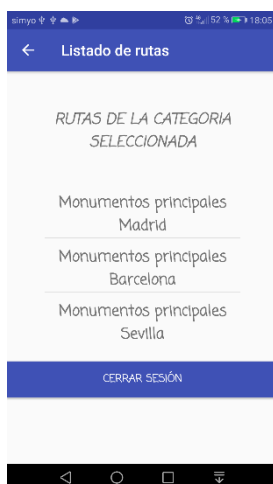
- **Wikitude:** It initially had the purpose to provide augmented reality experiences based on the location through the application Wikitude World Browser. In 2012, the company launched the SDK of Wikitude, a development framework that uses recognition of images and tracking, and geolocation technologies. This SDK allows the use of web technologies (HTML & JavaScript). It is a payment platform. However, using a key free freeware version of Wikitude is available.
- **Qualcomm Vuforia:** This SDK supports a variety of types of lenses, both 2D as 3D and is capable of detecting various types of tags. It is available for iOS and Android, and like Wikitude, has at its disposal a forum with lots of examples and a tutorial for beginners.

First, it is very important to understand four basic concepts to use Wikitude.

- **Target:** It is basically a set of data for an image to be subsequently tracked by the mobile device's camera.
- **Target Management:** It is a web tool which, prior registration process, it is possible to upload all the images that are going to be detected by the application to obtain the file with extension wtc.
- **Target Collection:** as his name indicates, it is a set of Target that will be identified with the tracker. The Target Collection is a file with extension wtc generated on the Wikitude portal.
- **ClientTracker:** It is the Tracker that identifies the photo. Once focused photo with the camera, the tracker seeks a coincidence in the Target Collection for the tracking of the same.

Finally, to carry out this project, the requirements that Wikitude requests are taken into account. These are related to the mobile device used, which must have at least version 4.0, a 2 GHz processor and others related to the screen and RAM.

B.4. System description



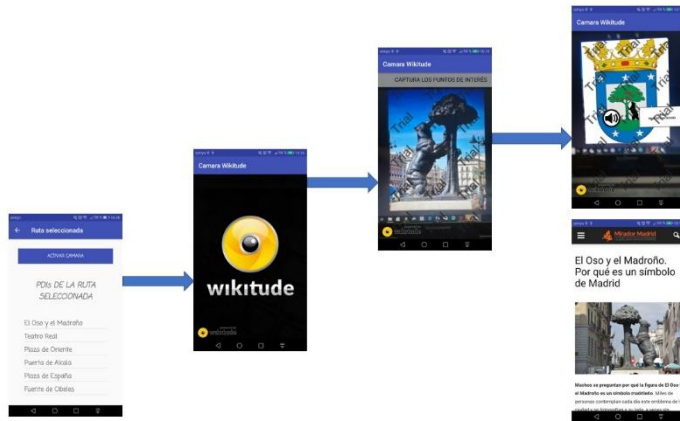
This section has been made a summary of the cycle from implementation to implementation. For this reason, images can be to see it. The first screen of the application's main menu, in which the users can register in the application or start the application if they already have a user name and password.

Secondly, there is a screen on which the registered user can select a category. Depending on the selected category, the users can see some routes or others, depending on their preferences.

As mentioned above, the following screen is a menu where the users can view the specific routes for the category they selected. When the users select one of them, is sent to the next menu, in which they can see landmarks that make up this route and a button, which activates the Wikitude augmented reality camera.

On the last screen, they can see the funcionalidades of the camera. When the users points the mobile device at a point of interest, listed three elements:

- A button that the users can activate voice synthesis. Activates a voice with a brief description of the point of interest.
- A button that the users can consult a web page, to get all the information they need.
- Finally, an image related to the point of interest appears on the screen. In some cases, for example, it is a picture of the same place in antiquity.



To get these features, mainly has been needed a laptop and mobile device operating system Android 7.0. In addition, the following tools have been used:

Android Studio: applications Android Java development platform. It integrates Android APIs, debugging and application generation utilities. Reported problems of compilation and execution of code and provides comments to correct them. It also allows the installation of a virtual mobile terminal to perform testing of the application without having to continually have one physical.

- Wikitude Target Manager Tool: broadly speaking is a free library of the SDK of Wikitude in the web that allows to upload images that the tourist Assistant will have to track.
- TTS (Text To Speech) speech synthesizer: as well they say its acronym is nothing more than a set of sentences reading, passing a written text, to read audio format.
- Google Drive: carry out control over the development versions that had both the application as this document, has been necessary the use of a tool of storage in the cloud. It has also been ideal to do backups that can be accessed from any other device.
- X10hosting web server: free hosting service web with which it is posible to get store information needed by the application and to access it remotely.

B.5. Evaluation

This chapter has a concrete goal; carrying out a process of evaluation of the application, which has been able to extract its main advantages and weaknesses. This assessment is based on a questionnaire which includes printing and the views of different users to test the developed application. After obtaining that information, an analysis of these data has been able to make and conclusions have been obtained.

As just mentioned, to conduct this assessment it has been to carry out a survey with questions about the evaluation experience to people of different age and sex. Through the first part of the survey you want to know the time that respondents give to mobile devices and their knowledge of augmented reality. The following question is based on the evaluation of the application and each one has been valued from 1 to 5, with 1 being the most negative and 5 the most positive.

Here there are the questions that formed part of this questionnaire:

- How much time do you spend to the use Smartphones?
- Do you often use Android applications?
- It tends to be interested in tourist routes?
- Do you have knowledge of RA?
- Do you use application with RA?
- Do you think of the idea of the application?
- Do you think the interface has been simple and intuitive?
- Has the application passed smoothly and without apparent errors?
- Did you useful web pages of the sites?
- Do you think useful speech synthesis?
- How did it the global experience of the application?

Once collected scores of some users to test the application, has been able to be an average of all of them, with which the users can see them, according to the opinions, points more and less interesting.

This survey has been able to extract a set of conclusions. The first of them is that, having been directed to young people, you can see that the use of mobile devices is very high. However, they do not have a very high knowledge of augmented reality. Despite

this, the idea of the subject of the application has not seemed too good, because there are already applications of tourist assistants in today's market.

In addition, the idea of web pages was not, in general, quite adequate, due to which it obliges them to avert his gaze from the place they are visiting, to pay greater attention to the mobile. On the other hand, the functionality of speech synthesis has seemed appropriate, since it is a very interactive way to learn in depth about the point of interest.

In conclusion, it is an application with a correct operation and positive aspects, and others to improve. For this reason, have been proposed a number of improvements and new features.

B.6. Conclutions and future work

The framework in which this work has focused thesis was mainly augmented reality, although it has also been very important to deepen the management of databases, both for creating the remote query of the same. It has been aimed at giving practical meaning to the use of both technologies, which gets bring ease to users of information of the places to visit. The framework in which this work has focused thesis was mainly augmented reality, although it has also been very important to deepen the management of databases, both for creating the remote query of the same. It has been aimed at giving practical meaning to the use of both technologies, which gets bring ease to users of information of the places to visit.

To do this, it has been necessary to make a preliminary study of mobile devices and augmented reality. This research has been to understand the evolution of both throughout history. In addition, done a search of the main suppliers with whom you can develop applications with augmented reality. To do this, it has been necessary to meet the current market in regards to the RA, which has been growing continuously, thus promoting the emergence of new companies focused on this technology.

By way of conclusion, it is considered to have managed to meet the goals set at the beginning of this document. These include the creation of an application for Android devices based on the use of augmented reality, as well as meet a real need, making users who visit different places may have information about them in a way easy.

However, this does not mean that new features can be incorporated or features to this application, some of which have been thought possible are the following:

- Cloud recognition system: with this modification you could update the list of points of interest traced, without access to the application code.
- Geolocation system: this system would access the position of the user and the points of interest, so that so the user can know what points surround you, without specifically aiming the camera at the same.
- Add maps of routes: geolocation system allow to add maps of routes according to the user is doing it.
- Increasing idioms.
- Increase portability to iOS: make the application compatible for both iOS and Android would be an interesting idea.
- Tracking of 3D objects: with the launch of the new version of Wikitude, the 7 SDK is can be traced estructuras and three-dimensional objects.

GLOSARIO

- API (Application Programming Interface, o, en español, Interfaz de Programación de Aplicaciones): procesos, funciones y métodos que brinda una determinada biblioteca de programación a modo de capa de abstracción para que sea empleada por otro programa informático.
- Dalvik: máquina virtual que utiliza la plataforma para dispositivos móviles Android. Dalvik ha sido diseñada por Dan Bornstein con contribuciones de otros ingenieros de Google. La Máquina Virtual Dalvik (DVM) permite ejecutar aplicaciones programadas en Java.
- SDK (Software Development Kit o, en español, Kit de desarrollo de software): se trata de un kit que reúne un grupo de herramientas que permiten la programación de aplicaciones móviles.
- Smartphone: teléfono celular con pantalla táctil, que permite al usuario conectarse a internet, gestionar cuentas de correo electrónico e instalar otras aplicaciones y recursos a modo de pequeño computador.
- Hardware: componentes físicos del ordenador, es decir, todo lo que se puede ver y tocar.
- Software: son las instrucciones que el ordenador necesita para funcionar, no existen físicamente, o lo que es igual, no se pueden ver ni tocar. Se dividen en sistemas operativos y en aplicaciones.
- Widget: pequeña aplicación o programa que tiene como principal objetivo el dar acceso a funciones frecuentemente usadas y proveer de información visual.
- CSS (Cascading Style Sheets): es un lenguaje de diseño gráfico para definir y crear la presentación de un documento estructurado escrito en un lenguaje de marcado. Es muy usado para establecer el diseño visual de los documentos web, e interfaces de usuario.
- HTLM (HyperText Markup Language): lenguaje de programación utilizado para la creación de páginas web.
- TTS (Text-To-Speech): sistema que permite la conversión de texto a voz.
- GPS: sistema americano de navegación y localización mediante satélites.
- GPRS (General Packet Radio Service): extensión de la tecnología de comunicaciones GSM. En esta tecnología, los datos a enviar son fragmentados en

pequeños bloques que, al llegar al destino, son reagrupados para hacer posible su lectura. Esto permite una mayor capacidad y velocidad de transmisión.

- NFC (Near Field Communication): estándar de conectividad inalámbrica de corto alcance.
- 3G: abreviación de tercera generación de transmisión de voz y datos a través de telefonía móvil mediante UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).
- 4G: cuarta generación de transmisión de voz y datos a través de telefonía móvil.
- IoT (Internet of Things): sistema de dispositivos de computación con la capacidad de transferir datos a través de la red.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Farshid, J. Paschen, T. Eriksson, J. Kietzmann, «Go boldly!: Explore augmented reality (AR), virtual reality (VR), and mixed reality (MR) for business,» *Business Horizons*, vol. 61, nº 5, pp. 657-663, 2018, doi: 10.1016/j.bushor.2018.05.009.
- [2] M. McTear, Z. Callejas, D. Griol, *The Conversational Interface*, Springer, 2016, pp. 75-92.
- [3] L. Cienfuegos, «Procesadores para dispositivos móviles,» 23 Febrero 2017. [En línea]. Disponible en: <http://leonardocienfuegosdam.blogspot.com/2017/02/procesadores-para-dispositivos-moviles.html>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [4] «PICKASO,» 2018. [En línea]. Disponible en: <https://pickaso.com/2018/uso-apps-espana-y-mundo-2018>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [5] D. Sunnebo, «KANTAR ESPAÑA,» 03 Mayo 2018. [En línea]. Disponible en: <https://es.kantar.com/tech/m%C3%B3vil/2018/mayo-2018-cuota-de-mercado-de-smartphones-en-espa%C3%B1a-primer-trimestre-2018/>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [6] C. Rus, «APPLESFERA,» 13 Octubre 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.applesfera.com/ios/la-evolucion-de-ios-desde-sus-origenes-una-carrera-para-ser-el-mejor-sistema-operativo-movil-de-la-historia>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [7] «XATAKA,» 19 Septiembre 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.xataka.com/basics/ios-11-fecha-lanzamiento-dispositivos-compatibles-como-instalar-y-principales-novedades>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [8] C. Rus, «APPLESFERA,» 4 Junio 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.applesfera.com/ios/ios-12-novedades-caracteristicas-compatibilidad-iphone-ipad>. [Último acceso: Febrero 2019].

- [9] «Ticsandroll Blog,» 2015 Marzo 2015. [En línea]. Available: <http://blog.ticsandroll.es/ios-y-su-arquitectura-interna-en-4-capas/>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [10] «EcuRed,» 15 Septiembre 2018. [En línea]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Windows_Phone_7. [Último acceso: Febrero 2019].
- [11] «XATAKA,» 20 Octubre 2010. [En línea]. Disponible en: <https://www.xataka.com/moviles/windows-phone-7>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [12] «XATAKA,» 29 Octubre 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.xatakamovil.com/desarrollo/windows-phone-8-a-fondo>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [13] «MuyWindows,» 14 Agosto 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.muywindows.com/2017/08/14/novedades-windows-10-mobile-fall-creators-update>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [14] «Microsoft,» 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.microsoft.com/es-es/windows/continuum>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [15] D. Hernández, «Computer Hoy,» 1 Enero 2018. [En línea]. Disponible en: <https://computerhoy.com/noticias/software/esta-es-razon-que-fracaso-windows-phone-78321>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [16] «Software de Comunicaciones UC3M,» [En línea]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/swcuc3m/home/android/generalidades/2-2-arquitectura-de-android>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [17] C. Collado, «Andro4all,» 7 Agosto 2018. [En línea]. Disponible en: <https://andro4all.com/2018/08/versiones-android-historia>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [18] P. G. Bejerano, «Blogthinkbig,» 7 Agosto 2014. [En línea]. Disponible en: <https://blogthinkbig.com/realidad-aumentada-origen>. [Último acceso: Febrero 2019].

- [19] A. S. Takanori Chihara, «Evaluation of physical workload affected by mass and center of mass of head-mounted display,» *Applied Ergonomics*, vol. 68, pp. 204-212, 2018, doi: [j.apergo.2017.11.016](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.11.016).
- [20] «Informática 2015,» 24 Septiembre 2015. [En línea]. Disponible en: <http://informaticanatalau.weebly.com/42/cronologia-realidad-aumentada>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [21] J. M. López, «Blogthinkbig,» 11 Julio 2018. [En línea]. Disponible en: <https://blogthinkbig.com/tag/realidad-aumentada>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [22] Camacho, E. Oropeza, O. Lozoya, «Internet de las cosas y Realidad Aumentada: Una fusión del mundo con la tecnología,» *Directory of Open Access Journals (DOAJ)*, vol. 6, n° 1, pp. 139-150, 2017.
- [23] J. Mota, I. Ruiz-Rube, J. Dodero, I. Arnedillo, «Augmented reality mobile app development for all,» *Computers & Electrical Engineering*, vol. 65, pp. 250-260, 2018.
- [24] «WIKITUDE,» [En línea]. Disponible en: <https://www.wikitude.com/products/wikitude-sdk/>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [25] «QUALCOMM VUFORIA,» [En línea]. Disponible en: <https://www.vuforia.com/>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [26] «OpenCV,» [En línea]. Disponible en: <https://opencv.org/>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [27] «ARToolKit,» [En línea]. Disponible en: <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [28] L. Zamora, J. A. Ballesteros-Ricaute, «Metodología para la construcción de objetos virtuales de aprendizaje, apoyada en realidad aumentada,» *Sophia*, vol. 13, n° 1, pp. 4-12, 2017, doi: [10.18634/sophiaj.13v.1i.209](https://doi.org/10.18634/sophiaj.13v.1i.209).

- [29] «Wikitude Support,» 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.wikitude.com/external/doc/documentation/latest/android/>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [30] E. López, «Un programador,» 14 Enero 2018. [En línea]. Disponible en: <https://unprogramador.com/ciclo-de-vida-de-un-activity-en-android/>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [31] «DOCUMENTATION WIKITUDE SDK ANDROID,» 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.wikitude.com/external/doc/documentation/5.1/android/supporteddevices.html>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [32] «MySQL,» 2010. [En línea]. Disponible en: <http://ftp.tcrc.edu.tw/MySQL/doc/refman/5.0/es/features.html>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [33] «PHP Documentation,» 2018. [En línea]. Available: <http://php.net/manual/es/intro-whatis.php>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [34] «Introducing JSON,» [En línea]. Available: <http://www.json.org/>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [35] «Expansion,» economiadigital, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.expansion.com/economia-digital/innovacion/2018/02/01/5a72e73a22601db2288b4658.html>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [36] «epturismo,». [En línea]. Available: <https://www.europapress.es/turismo/nacional/noticia-espana-cerrara-2018-812-millones-turistas-internacionales-08-menos-mayor-gasto-20181016124043.html>. [Último acceso: Febrero 2019].